

(52) CPC특허분류

A61B 34/20 (2016.02)

A61B 34/30 (2016.02)

A61B 34/32 (2016.02)

A61B 2034/101 (2016.02)

A61B 2034/2061 (2016.02)

A61B 2034/303 (2016.02)

A61B 2560/0276 (2013.01)

(72) 발명자

장 새뮤얼 와이

미국 94086 캘리포니아주 서니베일 카이퍼 1020

디올라이티 니콜라

미국 94086 캘리포니아주 서니베일 카이퍼 1020

두인담 빈센트

미국 94086 캘리포니아주 서니베일 카이퍼 1020

트루질로 살로몬 제이

미국 94086 캘리포니아주 서니베일 카이퍼 로드
1020

명세서

청구범위

청구항 1

의료용 로봇 시스템으로서,

가요성의 긴 몸체를 조작하도록 구성되는 하나 이상의 액추에이터를 포함하는 조작기 조립체(manipulator assembly); 및

동작들을 수행하도록 구성되는 제어 시스템

을 포함하고, 상기 동작들은

상기 의료용 로봇 시스템의 동작 상태를 결정하는 것;

상기 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 결함을 검출하는 것;

하나 이상의 휴리스틱을 따라 상기 결함을 분류하는 것; 및

상기 결함을 완화하기 위해 상기 하나 이상의 휴리스틱에 기반하여 상기 의료용 로봇 시스템 상에 결함 반응 상태를 부과하는 것

을 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템 상에 상기 결함 반응 상태를 부과하는 것은 디스플레이에 경고를 표시하는 것 또는 운전자(operator) 입력을 요구하는 것을 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 상기 하나 이상의 구성요소는 측정 센서를 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 측정 센서는 형상 센서를 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 형상 센서는 하나보다 많은 코어를 포함하는 광섬유를 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 측정 센서는 상기 하나 이상의 액추에이터 내부에 상태 센서를 더 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 하나 이상의 액추에이터는 제1 상태 센서 및 제2 상태 센서를 포함하고; 상기 제1 상태 센서 및 제2 상태 센서는 여분의(redundant) 센서로서 구성되는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 개요성의 긴 몸체를 더 포함하고, 상기 개요성의 긴 몸체는 선단부, 말단부, 및 의료 기구를 받아들일도록 구성되는 내강(lumen)을 포함하는, 의료용 로봇 시스템

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 내강 내부의 의료 기구의 존재, 상기 내강에 대한 상기 의료 기구의 위치, 및 상기 의료

기구의 유형 중 적어도 하나를 검출하도록 구성되는 의료 기구 검출기를 더 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 동작 상태는 상기 의료 기구 검출기로부터의 정보에 기반하여 결정되는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 11

제8항에 있어서, 백엔드 하우징(backend housing)을 더 포함하고,
 상기 가요성의 긴 몸체는 상기 백엔드 하우징에 결합되고;
 상기 백엔드 하우징은 상기 조작기 조립체에 해제 가능하게(releasably) 결합되는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 상기 동작 상태는 상기 백엔드 하우징이 상기 조작기 조립체로부터 수동으로 분리된 것을 표시하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 하나 이상의 액추에이터는 상기 가요성의 긴 몸체의 말단부를 구부리도록 구성되는 회전 액추에이터를 포함하고;
 상기 의료용 로봇 시스템 상에 상기 결합 반응 상태를 부과하는 것은 상기 회전 액추에이터를 제어하여 상기 가요성의 긴 몸체가 환자의 해부학적 통로의 벽들에 의해 상기 가요성의 긴 몸체에 가해진 외부 힘들에 순응하게 하는 것을 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 14

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 하나 이상의 액추에이터는 상기 가요성의 긴 몸체를 삽입 축을 따라 이동시키도록 구성되는 제1 삽입 액추에이터를 포함하고;
 상기 의료용 로봇 시스템 상에 상기 결합 반응 상태를 부과하는 것은 상기 삽입 축을 따르는 상기 가요성의 긴 몸체의 이동을 방지하기 위해 상기 제1 삽입 액추에이터를 활성화시키는 것을 더 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 15

제8항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템 상에 상기 결합 반응 상태를 부과하는 것은 제1 삽입 액추에이터를 활성화하기 전에 삽입 축을 따라 후퇴 거리만큼 상기 가요성의 긴 몸체를 후퇴시켜 상기 삽입 축을 따르는 상기 의료 기구의 운동을 방지하는 것을 더 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 16

제8항에 있어서,
 상기 하나 이상의 액추에이터는 상기 가요성의 긴 몸체의 내강 내부의 삽입 축을 따라 상기 의료 기구를 이동시키도록 구성되는 제2 삽입 액추에이터를 더 포함하고;
 상기 의료용 로봇 시스템 상에 상기 결합 반응 상태를 부과하는 것은 상기 삽입 축을 따라 후퇴 거리만큼 상기 의료 기구를 후퇴시키는 것을 더 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 결합 반응 상태를 부과하는 것은 상기 의료 기구를 후퇴시키기 전에 상기 가요성의 긴 몸체의 형상을 유지하는 것을 더 포함하는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 18

제8항 내지 제12항 및 제15항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서 상기 결합이 검출되는 경우 자동적으로 상기 의료 기구를 후퇴시키는, 의료용 로봇 시스템.

청구항 19

의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법으로서, 상기 방법은

선단부, 말단부, 및 그 사이의 내강을 가지는 긴 몸체를 포함하는 상기 의료용 로봇 시스템의 동작 상태를 결정하는 단계;

상기 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 결합을 검출하는 단계;

하나 이상의 휴리스틱을 따라 상기 결합을 분류하는 단계; 및

상기 결합을 완화시키기 위해 상기 의료용 로봇 시스템의 상기 동작 상태 및 상기 결합의 상기 분류에 기반하여 제어 시스템에 의해 상기 의료용 로봇 시스템 상에 결합 반응 상태를 부과하는 단계

를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 결합 반응 상태를 부과하는 단계는 액추에이터들을 제어하는 단계를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 액추에이터들은 상기 긴 몸체의 상기 말단부를 구부리도록 구성되는 하나 이상의 회전 액추에이터를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 하나 이상의 회전 액추에이터를 제어하는 단계는 상기 하나 이상의 회전 액추에이터를 비활성화 하는 단계, 상기 하나 이상의 액추에이터에 감소된 토크를 적용하는 단계, 및 제어 신호의 일부를 0으로 전환하는 단계 중 적어도 하나의 단계를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 23

제20항에 있어서, 상기 액추에이터들은 삽입 축을 따라 상기 긴 몸체를 이동시키도록 구성되는 하나 이상의 삽입 액추에이터를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 24

제23항에 있어서, 상기 하나 이상의 삽입 액추에이터를 제어하는 단계는 상기 삽입 축을 따르는 상기 긴 몸체의 이동을 방지하기 위해 상기 삽입 액추에이터를 활성화하는 것을 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 25

제19항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 상기 동작 상태는 상기 긴 몸체의 현재 구성을 표시하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 26

제25항에 있어서, 상기 긴 몸체의 상기 현재 구성은 상기 긴 몸체가 내부에 위치한 환자의 해부학적 구조(patient anatomy)의 유형 및 상기 환자의 해부학적 구조에 대한 상기 긴 몸체의 위치 중 적어도 하나를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 27

제25항에 있어서, 상기 긴 몸체의 상기 현재 구성은 상기 긴 몸체의 상기 말단부의 위치, 상기 긴 몸체의 상기 말단부의 배향, 및 상기 긴 몸체의 형상 중 적어도 하나를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 긴 몸체의 상기 현재 구성은 하나 이상의 측정 센서에 기반하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 29

제28항에 있어서,

상기 하나 이상의 측정 센서는 적어도 두 개의 여분의 센서를 포함하고;

상기 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 상기 결함을 검출하는 단계는 둘 이상의 여분의 센서로부터의 신호들을 비교하여 상기 신호들 사이의 차이를 결정하는 단계; 및 상기 신호들 사이의 상기 차이를 임계값과 비교하는 단계를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 30

제28항에 있어서, 상기 하나 이상의 측정 센서는 제1 광학 코어 및 제2 광학 코어를 포함하는 광학 형상 센서를 포함하고, 상기 결함은 상기 제1 광학 코어로부터 수신된 제1 신호와 상기 제2 광학 코어로부터 수신된 제2 신호 사이에서 검출된 차이를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 31

제28항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 상기 결함을 검출하는 단계 상기 하나 이상의 측정 센서들로부터의 측정들을 비교하여 상기 측정들 사이의 차이를 결정하는 단계 및 상기 측정들 사이의 상기 차이를 임계값과 비교하는 단계를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 32

제19항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 상기 동작 상태는 상기 긴 몸체의 상기 말단부로부터 배치된 의료 기구의 존재, 상기 내강에 대한 상기 의료 기구의 위치, 및 상기 긴 몸체를 통해 배치된 상기 의료 기구의 유형 중 적어도 하나를 표시하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 33

제32항에 있어서, 상기 의료 기구는 바늘인, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 34

제33항에 있어서, 상기 동작 상태가 상기 긴 몸체가 환자의 해부학적 구조에 힘을 가한다는 것을 더 표시하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 35

제34항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 상기 동작 상태에 기반하여, 상기 제어 시스템은

액추에이터들을 활성화시킴으로써 상기 긴 몸체의 형상을 활동적으로 유지하고;

상기 긴 몸체의 상기 내강 내부의 상기 바늘의 후퇴를 개시하고;

상기 액추에이터들을 제어하여 상기 긴 몸체가 환자의 해부학적 통로의 벽들에 의해 상기 긴 몸체상에 가해지는 외부 힘들에 순응하게 하도록

구성되는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 36

제35항에 있어서, 상기 바늘의 후퇴를 개시하는 단계는 자동인, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 37

제35항에 있어서, 상기 바늘의 후퇴를 개시하는 단계는 상기 바늘을 후퇴시키기 위한 통지를 디스플레이하는 단계를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 38

제19항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 상기 동작 상태는 상기 의료용 로봇 시스템에 의해 수행되는 절차 작업흐름(procedure workflow) 내의 단계를 표시하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 39

제19항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 상기 동작 상태는 상기 긴 몸체와 환자의 하나 이상의 해부학적 통로의 3차원 모델 사이의 정합(registration)의 품질 표시자(quality indicator)를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 40

제39항에 있어서, 상기 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 상기 결함을 검출하는 단계는 상기 정합의 상기 품질 표시자가 오류 값을 초과하는 것을 검출하는 단계를 포함하는, 의료용 로봇 시스템에서의 제어 방법.

청구항 41

비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체로서, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때 제19항 내지 제40항 중 어느 하나의 항의 방법을 포함하는 동작들을 수행하는, 명령어들이 저장된 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 관련 출원
- [0002] 본 특허 출원은 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된, 2016년 6월 30일자로 출원된 "의료용 로봇 시스템의 결함 반응 메커니즘을 위한 시스템 및 방법"이라는 명칭의 미국 특허 가출원 제 62/357,121호의 우선권 및 출원일 이익을 주장한다.
- [0003] 발명의 분야
- [0004] 본 개시는 의료용 로봇 시스템에서의 고장에 반응하기 위한 시스템 및 방법들에 관한 것이고, 더 구체적으로는 의료 절차에서 사용되는 의료용 로봇 시스템에서의 이러한 고장들을 처리하는 시스템 및 방법들에 관한 것이다.

배경 기술

- [0005] 컴퓨터 보조 의료 디바이스들을 사용하는 최소 침습 수술 기술들은 일반적으로 건강한 조직에 대한 손상을 최소화하면서 수술 및/또는 다른 절차를 수행하려고 시도한다. 일부 최소 침습 절차들은 수술 기구들과 함께 컴퓨터 보조 의료 디바이스들의 사용을 통해 원격으로 수행될 수 있다. 다수의 컴퓨터 보조 의료 디바이스들에 있어서, 의사 및/또는 다른 의료 요원은 전형적으로 운전자 콘솔(operator console) 상의 하나 이상의 제어를 사용하여 입력 디바이스를 조작할 수 있다. 의사 및/또는 다른 의료 요원이 의사 콘솔에서 다양한 제어를 동작함에 따라, 명령들은 의사 콘솔로부터 하나 이상의 엔드 이펙터(end effector) 및/또는 수술 기구가 장착된 환자 측 디바이스로 텔레이된다. 이러한 방식으로, 의사 및/또는 다른 의료 요원은 엔드 이펙터들 및/또는 수술 기구들을 사용하여 환자에게 하나 이상의 절차를 수행할 수 있다. 사용되는 원하는 절차 및/또는 수술 기구들에 의존하여, 수술 기구가 의사 및/또는 다른 의료 요원에 의한 하나 이상의 활성화 동작들에 기반하여 일련의 동작들을 수행할 수 있는 반자동 제어 하에 및/또는 원격 조작을 사용하는 의사 및/또는 의료 요원의 제어 하에 원하는 절차가 부분적으로 또는 전체적으로 수행될 수 있다.
- [0006] 수동, 원격 조작, 및/또는 반자동으로 작동되는지 여부에 관계없이, 최소 침습 수술 시스템들은 다양한 동작들 및/또는 절차들에서 사용될 수 있고, 다양한 구성을 가질 수 있다. 이러한 많은 시스템은 관절형 암(articulated arm)의 말단부에 장착될 수 있는 샤프트의 말단부에 장착된 엔드 이펙터를 포함하는 기구들을 갖

는다. 많은 동작 시나리오에서, 샤프트는 개구(opening)(예를 들어, 체벽 절개, 자연 오리피스(natural orifice), 및/또는 이와 유사한 것)를 통해 삽입되어(예를 들어, 복강경 검사, 흉강경 검사, 및/또는 이와 유사한 것으로) 원격의 수술 부위에 도달하도록 구성될 수 있다. 일부 기구들에서, 관절형 손목 메커니즘은 기구의 샤프트의 말단부에 장착되어 샤프트의 길이 방향 축에 대한 엔드 이펙터의 배향을 변경하는 능력을 제공하는 관절형 손목을 갖는 엔드 이펙터를 지지할 수 있다. 관절형 손목 메커니즘은 가요성 로봇 암 또는 카테터에 의해 제공될 수 있다.

[0007] 상이한 설계 및/또는 구성의 엔드 이펙터들은 의사 및/또는 다른 의료 요원이 다양한 수술 절차 중 임의의 것을 수행할 수 있도록 상이한 작업들, 절차들, 및 기능들을 수행하는 데 사용될 수 있다. 예들은 소작(cauterizing), 제거(ablating), 봉합(suturing), 절단(cutting), 스테이플링(stapling), 퓨징(fusing), 실링(sealing) 등, 및/또는 이들의 조합을 포함하지만, 이에 한정되지는 않는다. 따라서, 엔드 이펙터들은 이러한 수술 절차들을 수행하기 위해 다양한 구성요소 및/또는 구성요소들의 조합을 포함할 수 있다. 이러한 엔드 이펙터들은 가요성 로봇 카테터의 말단부에 부착될 수 있거나 가요성 로봇 카테터의 길이를 따라 연장되는 하나 이상의 내강(lumen)을 통해 수술 부위에 전달될 수 있다.

[0008] 가요성 로봇 카테터를 사용하는 수술 동안, 원하는 절차를 수행하려고 시도하는 동안 구성 요소들 중 하나 이상이 결합 상태에 부딪힐 때, 의사 및/또는 다른 의료 요원이 엔드 이펙터의 제한된 가시성, 수술 기구들이 동작하는 제한된 공간, 수술 기구로의 제한된 액세스, 의사 및/또는 다른 의료 요원들에 대한 엔드 이펙터의 원격 위치, 및/또는 이와 유사한 것들에 기인한 결합 상태를 검출 및/또는 정정하기가 어려울 수 있다. 따라서, 결합 상태에 반응하는 개선된 방법 및 시스템이 필요하다.

발명의 내용

[0009] 본 발명의 실시양태들은 발명의 설명을 따르는 청구범위에 의해 가장 잘 요약된다.

[0010] 그러나, 일부 실시양태들에 따르면, 의료용 로봇 시스템은 가요성의 긴 몸체를 조작하도록 구성된 하나 이상의 액추에이터를 갖는 조작기 조립체(manipulator assembly) 및 동작들을 수행하도록 구성된 제어 시스템을 포함한다. 동작들은 의료용 로봇 시스템의 동작 상태를 결정하는 것, 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 결합을 검출하는 것, 하나 이상의 휴리스틱을 따라 결합을 분류하는 것, 및 결합을 완화하기 위해 하나 이상의 휴리스틱에 기반하여 의료용 로봇 시스템 상에 결합 반응 상태를 부과하는 것을 포함한다.

[0011] 일부 실시양태들에 따르면, 의료용 로봇 시스템을 제어하는 방법은 선단부, 말단부 및 그 사이의 내강을 가지는 긴 몸체를 포함하는 의료용 로봇 시스템의 동작 상태를 결정하고, 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 결합을 검출하고, 하나 이상의 휴리스틱을 따라 결합을 분류하는 동작들을 포함한다. 매체의 일부 실시양태들은 결합을 완화하기 위해 의료용 로봇 시스템의 동작 상태 및 결합의 분류에 기반하여 의료용 로봇 시스템 상에 결합 반응 상태를 제어 시스템에 의해 부과하기 위한 명령어들을 더 포함한다.

[0012] 일부 실시양태들에 따르면, 명령어들이 저장된 비일시적 컴퓨터 관독가능 저장 매체가 제공될 수 있다. 로봇 제어 시스템의 프로세서 또는 프로세서들과 같은, 하나 이상의 프로세서에 의해 명령어들이 실행되는 경우, 선단부, 말단부, 및 그 사이의 내강을 가지는 긴 몸체를 포함하는 의료용 로봇 시스템의 동작 상태를 결정하는 것, 의료용 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 결합을 검출하는 것, 및 하나 이상의 휴리스틱을 따라 결합을 분류하는 것을 포함하는 동작을 수행한다. 매체의 일부 실시양태들은 결합을 완화하기 위해 의료용 로봇 시스템의 동작 상태 및 결합의 분류에 기반하여 의료용 로봇 시스템 상에 결합 반응 상태를 제어 시스템에 의해 부과하기 위한 명령어들을 더 포함한다.

[0013] 실시양태들은 동작 상태가 의료 기구가 내강으로부터 돌출되어 있다는 것을 표시하는 경우 긴 몸체에 결합된 액추에이터들이 긴 몸체의 형상을 유지하도록 하는 것, 및 동작 상태가 의료 기구가 내강으로부터 돌출되어 있지 않다는 것을 표시하는 경우 액추에이터가 환자의 해부학적 통로의 벽들에 의해 긴 몸체상에 가해지는 외부 힘에 순응하게 하는 것을 더 포함한다.

[0014] 진술한 일반적인 설명 및 다음의 구체적인 설명은 본질적으로 예시적이고 설명적인 것이며, 본 개시의 범위를 제한하지 않으면서 본 개시의 이해를 제공하기 위한 것이라는 것이 이해되어야 한다. 이와 관련하여, 본 개시의 추가적인 양태들, 특징들 및 장점들은 다음의 구체적인 설명으로부터 본 기술분야의 통상의 기술자에게 명백할 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 본 개시의 양태들은 첨부된 도면들과 함께 읽을 때 다음의 구체적인 설명으로부터 가장 잘 이해된다. 업계의 표준 관행에 따라, 다양한 특징들이 실제 크기로 도시되지 않았다는 것이 강조된다. 실제로, 다양한 특징의 치수는 논의의 명료성을 위해 임의적으로 증가하거나 감소할 수 있다. 또한, 본 개시는 다양한 예에서 참조 번호 및/또는 문자를 반복할 수 있다. 이러한 반복은 단순성 및 명료성을 목적으로 하며, 그 자체로 논의된 다양한 실시양태들 및/또는 구성들 사이의 관계를 지시하지는 않는다.
- 도 1은 본 개시의 실시양태들에 따른 원격 조작 의료 시스템이다.
- 도 2는 본 개시의 양태를 이용하는 의료용 로봇 시스템을 도시한다.
- 도 3a 및 3b는 본 개시의 실시양태를 따른 삽입 조립체 상에 장착된 가요성 의료 기구를 포함하는 환자 좌표 공간의 측면도이다.
- 도 4a, 4b, 4c, 및 4d는 사람의 폐 내부로의 삽입 동안 도 2, 3a, 및 3b의 의료용 로봇 시스템의 말단부를 도시한다.
- 도 5는 본 개시의 일부 실시양태를 따라 의료용 로봇 시스템에서의 결함을 완화하는 방법을 도시하는 흐름도이다.
- 도 6a, 6b, 및 6c는 본 개시의 양태들을 따라 사람의 폐 내부에 위치한 의료용 로봇 시스템에서 검출된 결함에 응답하는 스테이지를 도시한다.
- 도 7은 본 개시의 일부 실시양태에서 사용될 수 있는 그래픽 사용자 인터페이스를 도시한다.
- 이러한 도면들은 다음의 구체적인 설명을 참조함으로써 더 잘 이해될 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 본 발명의 양태들의 다음의 구체적인 설명에서, 개시된 실시양태들의 완전한 이해를 제공하기 위해 다수의 특정 세부사항들이 기재된다. 그러나, 이러한 개시의 실시양태들이 이러한 특정 세부사항들 없이도 실시될 수 있다는 것은 본 기술분야의 통상의 기술자에게 자명할 것이다. 다른 경우들에서, 잘 알려진 방법들, 절차들, 구성요소들, 및 회로들은 본 발명의 실시양태들의 양태들을 불필요하게 모호하게 하지 않도록 하기 위해 구체적으로 설명되지 않았다. 또한, 불필요한 설명적인 반복을 피하기 위해, 하나의 도시적인 실시양태에 따라 설명된 하나 이상의 구성요소 또는 동작들은 다른 도시적인 실시양태들로부터 적용 가능한 것으로서 사용되거나 생략될 수 있다.
- [0017] 이하의 실시양태는 다양한 기구들 및 기구들의 부분들을 그 3차원 공간에서의 상태와 관련하여 설명할 것이다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "위치"라는 용어는 3차원 공간에서의 물체 또는 물체의 부분이 있는 장소를 지칭한다(예를 들어, 데카르트 x , y , 및 z 좌표에 따른 3의 병진 자유도). 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "배향"이라는 용어는 물체 또는 물체의 부분의 회전 배치를 지칭한다(3의 회전 자유도 - 예를 들어, 롤(roll), 피치(pitch), 및 요(yaw)). 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "포즈(pose)"라는 용어는 최소 1의 병진 자유도에서의 물체 또는 물체의 부분의 위치 및 최소 1의 회전 자유도에서의 그 물체 또는 물체의 부분의 배향을 지칭한다(최대 전체 6의 자유도). 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "형상"이라는 용어는 물체를 따라 측정된 포즈들, 위치들, 또는 배향들의 집합을 지칭한다.
- [0018] 도면의 도 1을 참조하면, 예를 들어, 수술, 진단, 치료, 또는 생검 절차들에서 사용하기 위한 원격 조작 의료 시스템(100)은 일반적으로 참조 번호(100)로 표시된다. 도 1에 도시된 바와 같이, 원격 조작 의료 시스템(100)은 일반적으로 환자(P)에 대해 다양한 절차들을 수행하는 의료 기구 시스템(104)과 같은, 하나 이상의 기구 시스템을 갖는 원격 조작 조리기 조립체(102)("슬레이브 조리기 조립체(102)", 원격 조작 조립체(102), 및 조리기 조립체(102)라고도 함)를 포함한다. 조리기 조립체(102)는 수술대(T) 또는 그 근처에 장착된다. 마스터 조립체(106)로 불리는 운전자 입력 시스템은 운전자(예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같은 외과 의사(surgeon), 임상 의(clinician), 또는 내과 의사(physician)(0))가 중재(interventional) 영역을 관찰하고 조리기 조립체(102)를 제어할 수 있게 한다.
- [0019] 마스터 조립체(106)는 일반적으로 수술대(T)와 동일한 공간에 위치되는 조작자의 콘솔에 위치할 수 있고, 수술대(T) 근처에 위치할 수 있다. 그러나, 의사(0)는 환자(P)와는 상이한 공간 또는 완전히 상이한 건물에 위치할 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 마스터 조립체(106)는 일반적으로 조리기 조립체들(102)을 제어하기 위한 하나 이상의 제어 디바이스를 포함한다. 제어 디바이스들은 조이스틱, 트랙볼, 데이터 장갑, 트리거 총(trigger-

guns), 수동(hand-operated) 컨트롤러, 음성 인식 디바이스, 몸체 운동 또는 존재 센서 등과 같은 임의의 수의 다양한 입력 디바이스들을 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 제어 디바이스들은 의사에게 원격 현장감(telepresence), 또는 제어 디바이스들이 기구 시스템(104)과 통합되어 의사가 기구 시스템(104)을 직접 제어하는 강한 감각을 갖도록 하는 인식을 제공하기 위해 하나 이상의 연관된 의료 기구 시스템(들)(104)과 동일한 자유도가 제공될 수 있다. 다른 실시양태에서, 제어 디바이스들은 연관된 의료 기구 시스템(104)보다 더 많거나 더 적은 자유도를 가지면서 여전히 의사에게 원격 현장감을 제공할 수 있다. 일부 실시양태에서, 제어 디바이스들은 6의 자유도로 움직이고, 또한 기구들을 작동시키기 위한(예를 들어, 파지 조오(grasping jaw)를 단거나, 전극에 전위를 가하거나, 의약 요법을 전달하거나, 또는 이와 비슷한 것) 작동 가능한 손잡이를 포함할 수 있는 수동 입력 디바이스들이다.

[0020] 조작기 조립체(102)의 부분은 의료 기구 시스템(104)을 지원하고, 하나 이상의 비-서보(non-servo) 제어된 링크들(예를 들어, 수동으로 위치되고 제자리에 고정될 수 있고, 일반적으로 셋업 구조(set-up structure)로 지칭되는 하나 이상의 링크들)의 운동학적 구조 및 원격 조작 조작기(teleoperational manipulator)를 포함할 수 있다. 조작기 조립체(102)는 제어 시스템(예를 들어, 제어 시스템(112))으로부터의 명령에 응답하여 의료 기구 시스템(104) 상의 입력을 구동시키는 복수의 액추에이터 또는 모터를 포함한다. 모터들은 의료 기구 시스템(104)에 결합되었을 때 의료 기구를 자연적으로 또는 수술적으로 만들어진 해부학적 오리피스 내부로 전진시킬 수 있는 구동 시스템을 포함한다. 다른 동력화된(motorized) 구동 시스템들은 3도의 직선 운동(예를 들어, X, Y, Z 데카르트 축을 따르는 직선 운동)을 포함할 수 있는 복수의 자유도, 및 3도의 회전 운동(예를 들어, X, Y, Z 데카르트 축에 대한 회전)으로 의료 기구의 말단부를 이동시킬 수 있다. 또한, 모터는 생검 디바이스 등의 조오에서 조직을 파지하기 위해 기구의 관절화할 수 있는(articulable) 엔드 이펙터를 작동시키는데 사용될 수 있다. 리졸버(resolver), 인코더, 전위차계(potentiometer), 및 다른 메커니즘들과 같은 모터 위치 센서들은 센서 데이터를 모터 샤프트들의 회전 및 배향을 설명하는 원격 조작 조립체에 제공할 수 있다. 이 위치 센서 데이터는 모터들에 의해 조작되는 물체들의 운동을 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0021] 또한, 원격 조작 의료 시스템(100)은 조작기 조립체(102)의 기구들 및 기구 시스템들에 대한 정보를 수신하기 위한 하나 이상의 서브 시스템을 갖는 센서 시스템(108)을 포함할 수 있다. 이러한 서브 시스템들은 위치/장소 센서 시스템(예를 들어, 전자기(EM) 센서 시스템); 카테터 팁 및/또는 기구 시스템(104)의 가요성 물체를 따른 하나 이상의 세그먼트들의 위치, 배향, 속력, 속도, 포즈, 및/또는 형상을 결정하기 위한 형상 센서 시스템; 및/또는 카테터 시스템의 말단부로부터 이미지들을 캡처하기 위한 시각화 시스템을 포함할 수 있다.

[0022] 시각화 시스템(예를 들어, 도 2의 시각화 시스템(231))은 의료 기구 시스템(104)의 말단부에서 수술 부위의 동시 또는 실시간 이미지를 기록하는 관찰 범위 조립체를 포함하고 이미지를 하나 이상의 시각 디스플레이로 의사(0)에게 제공할 수 있다. 동시 이미지는 예를 들어, 수술 부위 내에 위치한 내시경에 의해 캡처된 2차원 또는 3차원 이미지일 수 있다. 이 실시양태에서, 시각화 시스템은 의료 기구 시스템(104)에 통합적으로 또는 제거 가능하게 결합될 수 있는 내시경 구성요소들을 포함한다. 그러나, 다른 실시양태에서, 별도의 조작기 조립체에 부착된 내시경은 수술 부위를 이미징(image)하기 위해 의료 기구들과 함께 사용될 수 있다. 시각화 시스템(231)은 제어 시스템(112)(이하 설명됨)의 프로세서들을 포함할 수 있는 하나 이상의 컴퓨터 프로세서와 상호작용하거나 아니면 이들에 의해 실행되는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합으로서 구현될 수 있다. 제어 시스템(112)의 프로세서들은 이러한 시각화 프로세서들 및 다른 것들과 같은, 본 명세서에 개시된 프로세스에 대응하는 명령어들을 포함하는 명령어들을 실행할 수 있다.

[0023] 또한, 원격 조작 의료 시스템(100)은 수술 부위의 이미지 또는 표현을 디스플레이하기 위한 디스플레이(110) 및 센서 시스템(108)의 서브시스템에 의해 발생하는 의료 기구 시스템(104)을 포함한다. 디스플레이(110) 및 마스터 조립체(106)는 의사가 원격 현장감의 인식으로 의료 기구 시스템(104) 및 마스터 조립체(106)를 제어할 수 있도록 배향될 수 있다. 일부 실시양태들에서, 디스플레이(110)는 의사(0)에게 디스플레이될 하나 이상의 물체의 모델을 제시할 수 있다. 예를 들어, 환자(P)의 장기 또는 해부학적 구조 통로의 모델(또는 환자(P)에 특정되지 않는 모델)이 디스플레이될 수 있다. 또 다른 예로서, 의료 기구 시스템(104)의 모델 또는 구성요소가 또한 디스플레이될 수 있다.

[0024] 또한, 디스플레이(110)는 시각화 시스템(231)에 의해 캡처된 수술 부위 및 의료 기구들의 이미지를 디스플레이할 수 있다. 디스플레이(110) 및 제어 디바이스들은 범위 조립체 및 의료 기구들의 이미징 디바이스의 상대적 위치들이 의사의 눈 및 손의 상대적 위치들과 유사하도록 배향되어 의사가 실질적으로 실제 존재하는 작업공간을 관찰하는 것처럼 의료 기구 시스템(104) 및 손 제어를 조작할 수 있도록 할 수 있다. 실제 존재감에 의한다는 것은 이미지의 제시가 기구 시스템(104)을 물리적으로 조작하는 운전자의 시점을 시뮬레이션하는 참된 투시

이미지라는 것을 의미한다.

- [0025] 선택적으로 또는 추가적으로, 디스플레이(110)는 컴퓨터 단층 촬영(CT), 자기 공명 영상(MRI), 형광 투시법(fluoroscopy), 서모그래피(thermography), 초음파, 광 간섭 단층촬영(OCT), 열 이미징, 임피던스 이미징, 레이저 이미징, 또는 나노튜브 X-ray 이미징과 같은, 이미징 기술들로부터 이미지 데이터를 사용하여 수술 전 또는 수술 중 기록된 수술 부위의 이미지들을 제시할 수 있다. 수술 전 또는 수술 중의 이미지 데이터는 2차원, 3차원, 또는 4차원(예를 들어, 시간 기반 또는 속도 기반 정보를 포함함) 이미지 또는 수술 전 또는 수술 중의 이미지 데이터 집합으로부터 만들어진 모델로부터의 이미지로서 제시될 수 있다.
- [0026] 일부 실시양태들에서, 이미지로 안내되는(image-guided) 의료 절차들을 위해 종종, 디스플레이(110)는 의료 기구 시스템(104)의 실제 위치가 수술 전 또는 동시 이미지/모델로 등록(즉, 동적으로 참조됨)되는 가상 내비게이션 이미지를 디스플레이해 의사(0)에게 기구 시스템(104)의 팁의 위치의 관점으로부터 내부 수술 부위의 가상의 이미지들을 제시할 수 있다. 기구 시스템(104)의 팁 또는 다른 그래픽 또는 영숫자(alphanumeric) 표시자들의 이미지는 의사가 의료 기구를 제어하는 것을 보조하기 위해 가상 이미지 상에 중첩될 수 있다. 대안적으로, 기구 시스템(104)은 가상 이미지에서 보이지 않을 수 있다.
- [0027] 다른 실시양태들에서, 디스플레이(110)는 의료 기구의 실제 위치가 수술 전 또는 동시 이미지로 등록되는 가상 내비게이션 이미지를 디스플레이해 의사(0)에게 외부 관점으로부터 수술 부위 내부의 의료 기구의 가상 이미지를 제시할 수 있다. 의료 기구 또는 다른 그래픽 또는 영숫자 표시자들의 부분의 이미지는 의사가 기구 시스템(104)을 제어하는 것을 보조하기 위해 가상 이미지 상에 중첩될 수 있다. 일부 실시양태들에서, 가상 내비게이션 이미지는 대응하는 실제 해부학적 통로를 따라서 또는 통해서 삽입되는 기구들의 관점으로부터 해부학적 통로의 모델을 도시하는 디스플레이(110)에 제시될 수 있다.
- [0028] 또한, 원격 조작 의료 시스템(100)은 제어 시스템(112)을 포함할 수 있다. 제어 시스템(112)은 의료 기구 시스템(104), 마스터 조립체(106), 센서 시스템(108), 및 디스플레이(110) 사이의 제어를 수행하기 위한 적어도 하나의 메모리 및 적어도 하나의 컴퓨터 프로세서(도시되지 않음), 및 전형적으로 복수의 프로세서를 포함한다. 또한, 제어 시스템(112)은 디스플레이(110)에 병리학적 및/또는 생리학적 정보를 제공하기 위한 명령어들을 포함하여 본 명세서에 개시된 양태들에 따라 설명된 방법들 중 일부 또는 전부를 구현하기 위한 프로그램된 명령어들(예를 들어, 명령어들을 저장하는 컴퓨터 판독가능 매체)를 포함할 수 있다. 제어 시스템(112)이 도 1의 단순화된 개략도에서 단일 블록으로 도시되어 있지만, 시스템은 처리의 한 부분은 선택적으로 조각기 조립체(102) 상에서 또는 이와 인접하여 수행되고, 처리의 다른 부분은 마스터 조립체(106)에서 수행되는 등의, 둘 이상의 데이터 처리 회로를 포함할 수 있다. 광범위한 집중화된 또는 분산된 데이터 처리 아키텍처 중 임의의 것이 사용될 수 있다. 유사하게, 프로그램된 명령어들은 다수의 개별적인 프로그램들 또는 서브루틴들로서 구현될 수 있거나, 본 명세서에 설명된 원격 조작 시스템의 다수의 다른 양태로 통합될 수 있다. 일 실시양태에서, 제어 시스템(112)은 블루투스, IrDA, HomeRF, IEEE 802.11, DECT, 및 무선 원격 측정과 같은 무선 통신 프로토콜을 지원한다.
- [0029] 일부 실시양태에서, 제어 시스템(112)은 의료 기구 시스템(104)으로부터 힘 및/또는 토크 피드백을 받는 하나 이상의 서보(servo) 컨트롤러를 포함할 수 있다. 피드백에 응답하여, 서보 컨트롤러들은 신호들을 마스터 조립체(106)로 송신한다. 또한, 서보 컨트롤러(들)는 신체의 개구들을 통해 환자의 신체 내의 내부 수술 부위 내로 연장되는 의료 기구 시스템(104)을 이동시키도록 조각기 조립체(102)를 지시하는 신호들을 송신할 수 있다. 임의의 적절한 종래의 또는 전문화된 서보 컨트롤러가 사용될 수 있다. 서보 컨트롤러는 조각기 조립체(102)와 별개이거나, 이와 통합될 수 있다. 일부 실시양태에서, 서보 컨트롤러 및 원격 조작 조립체는 환자의 신체에 인접하여 위치된 원격 조작 암 카트의 부분으로서 제공된다.
- [0030] 제어 시스템(112)은 이미지로 안내되는 수술 절차에서 사용될 때 의료 기구 시스템(104)에 내비게이션 보조를 제공하는 가상 시각화 시스템(도 2의 시각화 시스템(231)과 유사함)을 더 포함할 수 있다. 가상 시각화 시스템을 사용하는 가상 내비게이션은 취득한 해부학적 통로들의 수술 전 또는 수술 중의 데이터 집합들 및 모델들을 참조한다. 더 구체적으로는, 가상 시각화 시스템은 컴퓨터 단층 촬영(CT), 자기 공명 영상(MRI), 형광 투시법(fluoroscopy), 서모그래피(thermography), 초음파, 광 간섭 단층촬영(OCT), 열 이미징, 임피던스 이미징, 레이저 이미징, 또는 나노튜브 X-ray 이미징 등과 같은 이미징 기술들을 사용하여 이미징된 수술 부위의 이미지들을 처리한다. 단독이거나 수동 입력과 조합된 소프트웨어는 기록된 이미지들을 해부학적 장기 또는 해부학적 영역의 부분 또는 전체의 분할된 2차원 또는 3차원 복합 표현으로 변환하는 데 사용된다. 이미지 데이터 집합은 복합 표현과 관련된다. 복합 표현 및 이미지 데이터 집합은 통로들의 다양한 위치 및 형상 및 그들의 연결

성을 설명한다. 복합 표현을 발생시키는 데 사용되는 이미지들은 임상 절차(clinical procedure) 동안 수술 전에 또는 수술 중에 기록될 수 있다. 다른 실시양태에서, 가상 시각화 시스템은 표준 표현(즉, 환자 특정이 아님) 또는 표준 표현과 환자 특정 데이터의 혼합(hybrid)들을 사용할 수 있다. 복합 표현 및 복합 표현에 의해 발생된 임의의 가상 이미지들은 하나 이상의 운동의 단계들 동안(예를 들어, 폐의 흡기/호기 주기 동안) 변형 가능한 해부학적 영역의 정적 자세를 표현할 수 있다.

[0031] 가상 내비게이션 절차 동안, 센서 시스템(108)은 기구의 대략적인 위치 또는 환자의 해부학적 구조(patient anatomy)에 대한 기구의 부분들의 위치들을 계산하는 데 사용될 수 있다. 위치(들)는 환자의 해부학적 구조의 매크로 레벨(외부) 추적 이미지들 및 환자의 해부학적 구조의 가상 내부 이미지들을 생성하는 데 사용될 수 있다. 전자기(EM) 센서들, 광섬유 센서들, 또는, 예를 들어, 가상 시각화 시스템으로부터, 수술 전 기록된 수술 이미지와 함께 의료 기구를 등록하고 디스플레이하는 다른 센서들을 사용하기 위한 다양한 시스템들이 알려져 있다. 예를 들어, 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된 미국 특허 출원 제 13/107,562호(2011년 5월 13일 출원) ("이미지로 안내되는 수술을 위한 해부학적 구조의 모델의 동적 등록을 제공하는 의료 시스템"을 개시함)가 이러한 하나의 시스템을 개시한다.

[0032] 또한, 제어 시스템(112)은 시스템 고장 또는 결함 또는 결함 상태들을 검출하고 이에 응답하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 의료 기구 시스템(104)을 제어하는 데 사용되는 모터들 또는 액추에이터들은 제어 시스템(112)에 의한 제어를 용이하게 하는 토크 센서들 또는 위치 센서들을 포함할 수 있다. 의료 기구 시스템(104)은 이들 모터 또는 액추에이터를 모니터링하기 위한 여분의 센서들을 가지는 모터들 또는 액추에이터를 포함할 수 있다. 여분의 센서들이 상이한 판독 값(reading)들(예를 들어, 임계값을 초과하는 차이가 있는 판독 값)을 제공하는 경우, 제어 시스템(112)은 의료 시스템(100)에서 이러한 차이가 결함이라는 것을 검출할 수 있다. 일부 예에서 결함들은 반드시 고장 또는 오류의 표시인 것은 아니지만, 상태 또는 조건의 변화는 시스템 상태에서 다른 변화로 감지될 수 있다. 아래에 더욱 구체적으로 논의되는 바와 같이, 제어 시스템(112)은 의료 시스템(100) 또는 그것의 개별 구성요소들의 동작 상태들을 조정 또는 변경하여 잠재적으로 불리한 결과들을 완화시킬 수 있다.

[0033] 원격 조작 의료 시스템(100)은 조명 시스템, 조종(steering) 제어 시스템, 관개 시스템, 및/또는 흡입 시스템과 같은, 선택적인 동작 및 지원 시스템(도시되지 않음)을 더 포함할 수 있다. 다른 실시양태들에서, 원격 조작 시스템은 하나보다 많은 원격 조작 조립체 및/또는 하나보다 많은 운전자 입력 시스템을 포함할 수 있다. 조작기 조립체들의 정확한 수는 다른 요소들 중 수술 절차 및 수술실 내의 공간 제약에 의존할 것이다. 의사 입력 시스템들은 나란히 배치되거나(collocated) 별개의 위치에 위치될 수 있다. 다중 운전자 입력 시스템들은 하나보다 많은 운전자가 하나 이상의 조작기 조립체들을 다양한 조합으로 제어할 수 있도록 한다.

[0034] 도 2는 본 명세서에서 의료 기구 시스템(200)으로 지칭되고, 원격 조작 의료 시스템(100)으로 수행되는 이미지로 안내되는 의료 절차에서 의료 기구 시스템(104)으로 사용될 수 있는, 가요성 로봇 시스템을 도시한다. 대안적으로, 의료 기구 시스템(200)은 비 원격 조작 탐색 절차들 또는 내시경과 같은, 종래의 수동 동작 의료 기구들을 수반하는 절차들에 사용될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 의료 기구 시스템(200)은 환자의 해부학적 통로들 내의 위치들에 대응하는 데이터 포인트들의 집합을 수집(즉, 측정)하는 데 사용될 수 있다.

[0035] 기구 시스템(200)은 백엔드 하우징으로도 지칭되는, 하우징(204)에 결합된 카테터 시스템(202)을 포함한다. 기구 시스템(200)이 수동으로 동작되는 실시양태들에서, 하우징(204)은 그립핑(gripping) 특징, 수동 액추에이터, 또는 기구 시스템의 운동을 수동으로 제어하기 위한 다른 구성요소들을 포함할 수 있다. 카테터 시스템(202)은 조종 가능하거나, 대안적으로는, 시스템은 기구 구부림(bending)의 운전자 제어를 위한 통합된 메커니즘 없이 조종 가능하지 않을 수 있다. 카테터 시스템(202)은 선단부(217) 및 팁 부분 또는 말단부(218)를 가지는 긴 가요성 몸체(216)를 포함한다. 일 실시양태에서, 긴 가요성 몸체(216)는 약 3mm의 외경을 가진다. 다른 가요성의 몸체의 외경은 더 크거나 작을 수 있다. 카테터 시스템(202)은 말단부(218)에서의 카테터 팁 및/또는 가요성 몸체(216)를 따른 하나 이상의 세그먼트들(224)의 위치, 배향, 속력, 속도, 포즈, 및/또는 형상을 결정하기 위한 형상 센서(222)를 선택적으로 포함할 수 있다. 말단부(218)와 선단부(217) 사이의 가요성 몸체(216)의 전체 길이는 세그먼트(224)들로 효과적으로 분할될 수 있다. 기구 시스템(200)이 원격 조작 의료 시스템(100)의 의료 기구 시스템(104)인 경우, 형상 센서(222)는 센서 시스템(108)의 구성요소일 수 있다. 기구 시스템(200)이 수동으로 동작되거나 아니면 비 원격 조작 절차들에 사용되는 경우, 형상 센서(222)는 형상 센서를 조회하고(interrogate) 수신된 형상 데이터를 처리하는 추적 시스템(230)에 결합될 수 있다.

[0036] 형상 센서(222)는 가요성 몸체(216)와 정렬된(예를 들어, 내부 채널(도시되지 않음) 내에 제공되거나 외부적으

로 장착됨) 광섬유를 포함할 수 있다. 일 실시양태에서, 광섬유는 약 200 μm의 직경을 가진다. 다른 실시양태들에서, 치수는 더 크거나 작을 수 있다. 형상 센서(222)의 광섬유는 카테터 시스템(202)의 형상을 결정하기 위한 광섬유 밴드 센서를 형성한다. 일 대안에서, 광섬유 브래그 격자(FBG)들을 포함하는 광섬유들은 구조 내의 변형 측정들을 하나 이상의 치수로 제공하는 데 사용된다. 형상 센서(222)의 광섬유는 시간의 한 순간에 가요성 몸체(216)의 길이를 따라 형상 센서(222)의 다양한 부분들의 위치들을 설명하는 측정된 포인트들의 집합의 동시 수집을 가능하게 할 수 있다. 일부 실시양태들에서, 형상 센서(222)는 하나보다 많은 광섬유 코어를 가지는 광섬유 또는 하나보다 많은 코어를 가지는 다중 광섬유를 포함할 수 있다. 예를 들어, 형상 센서(222)는 중복성(redundancy)을 제공하고 증가된 정확도를 제공하기 위해 개별적으로 조회될 수 있는 7개의 광섬유 코어를 가지는 광섬유를 포함할 수 있다. 3차원에서의 광섬유의 형상 및 상대적인 위치를 모니터링하기 위한 다양한 시스템들 및 방법들은 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된 미국 특허 가출원 제 62/334,649호(2016년 5월 11일 출원)("안전을 위한 형상 섬유에서의 여분(Redundant) 코어"); 미국 특허 출원 제 11/180,389호(2005년 7월 13일 출원)("광섬유 위치 및 형상 감지 디바이스 및 그에 관련된 방법"); 미국 특허 제 12/047,056호(2004년 7월 16일 출원)("레이리 산란에 기반한 광섬유 위치 및/또는 형상 감지"); 및 미국 특허 출원 제 6,389,187호(1998년 6월 17일 출원)("광섬유 밴드 센서")에서 설명된다.

[0037] 다른 실시양태에서 센서들은 레이리 산란, 라만 산란, 브릴루앙 산란, 형광 산란과 같은, 다른 적절한 변형 감지 기술들을 사용할 수 있다. 다른 대안적 실시양태에서, 카테터의 형상은 다른 기술들을 사용하여 결정될 수 있다. 예를 들어, 카테터의 말단 팁 포즈의 이력을 사용하여 시간 간격에 따라 디바이스의 형상을 재구성할 수 있다. 다른 예로서, 과거 포즈, 위치, 또는 배향 데이터는 호흡과 같은, 교대(alternating) 운동의 주기를 따라 기구 시스템의 알려진 포인트에 대해 저장될 수 있다. 이 저장된 데이터는 카테터에 대한 형상 정보를 개발하는 데 사용될 수 있다. 대안적으로, 전자기(EM) 센서들과 같은, 카테터를 따라 위치된 일련의 위치 센서들은 형상 감지에 사용될 수 있다. 대안적으로, EM 센서와 같은 위치 센서로부터의 데이터 이력은 절차 동안 기구 시스템 상에서 특히 해부학적 통로가 일반적으로 정적(static)인 경우에 기구의 형상을 표현하는 데 사용될 수 있다. 대안적으로, 외부 자기장에 의해 제어되는 위치 또는 배향을 갖는 무선 디바이스는 형상 감지를 위해 사용될 수 있다. 무선 디바이스의 위치의 이력은 진행된 통로들의 형상을 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0038] 의료 기구 시스템은 위치 센서 시스템(220)을 선택적으로 포함할 수 있다. 위치 센서 시스템(220)은 외부적으로 발생된 전자기장을 받을 수 있는 하나 이상의 전도성 코일을 포함하는 하나 이상의 센서를 갖는 EM 센서 시스템을 포함할 수 있거나, 그것의 구성요소일 수 있다. EM 센서 시스템의 더 구체적인 설명은 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된 미국 특허 제 6,380,732호(1999년 8월 11일 출원) ("추적되는 물체 상에 수동 응답기를 가지는 자유도 6의 추적 시스템"을 개시함)에서 제공된다. 또한, 일부 실시양태에서, 형상 센서(222)는 ("환자 공간"으로 지칭되는 환자의 고정 좌표계에서) 형상 센서(222)의 기저부(base)의 위치에 대한 정보를 함께 가지는 형상 센서(222)의 형상이 말단부를 포함하는, 형상 센서를 따라 다양한 포인트들의 위치가 계산될 수 있도록 하기 때문에, 위치 센서로서 기능할 수 있다.

[0039] 추적 시스템(230)은 말단부(218) 및 기구 시스템(200)을 따른 하나 이상의 세그먼트(224)의 위치, 배향, 속도, 포즈, 및/또는 형상을 결정하기 위한 위치 센서 시스템(220) 및/또는 형상 센서(222)를 포함할 수 있다. 추적 시스템(230)은 제어 시스템(112)의 프로세서들을 포함할 수 있는 하나 이상의 컴퓨터 프로세서와 상호작용하거나 아니면 이에 의해 실행되는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어, 또는 이들의 조합으로서 구현될 수 있다. 추적 시스템(230)은 가요성 몸체(216)의 길이를 따라 연장되는 내강을 통해 의료 기구(226)와 같은 기구들의 삽입을 모니터링하는 하나 이상의 센서를 포함할 수 있다. 따라서, 추적 시스템(230)에 의존하여, 의료 기구(226)의 말단 팁이 대응하는 내강 내에 포함되는지 여부 또는 말단 팁이 수술 절차에서의 사용을 위해 내강으로부터 돌출하는지 여부의 표시를 제공할 수 있다. 예를 들어, 의료 기구(226)는 일부 실시양태에서 바늘을 포함할 수 있다. 추적 시스템(230)은 예를 들어, 정보를 제어 시스템(112)으로 제공하여, 생검 절차에서의 사용을 위해 바늘이 말단부(218)를 넘어 위치되는지 여부를 포함하여, 바늘의 삽입 깊이 및 삽입 축을 따르는 이동을 표시할 수 있다. 일부 실시양태에서, 하우징(204)은 의료 기구 또는 다른 내부 기구 몸체가 가요성 몸체(216)의 내강을 통해 삽입되었는지 여부를 표시하고, 삽입/후퇴 거리를 측정하기 위한 의료 기구 검출기를 포함할 수 있다.

[0040] 가요성 몸체(216)는 의료 기구(226)를 수용하기 위한 크기 및 형상을 갖는 채널을 포함한다. 의료 기구들은 예를 들어, 이미지 캡처 프로브들, 생검 기구들, 레이저 절제 섬유들, 또는 다른 수술, 진단, 또는 치료 도구들을 포함할 수 있다. 의료 도구들은 메스, 블런트 블레이드(blunt blade), 광섬유, 바늘, 또는 전극과 같은 단일 작업 부재(single working member)를 갖는 엔드 이펙터(end effector)들을 포함할 수 있다. 다른 엔드 이펙터들은 예를 들어, 겸자(forceps), 그래스퍼(graspers), 가위, 또는 클립 어플라이어(clip appliers)를 포함할

수 있다. 전기적으로 활성화된 엔드 이펙터들의 예들은 전기 수술 전극들, 트랜스듀서들, 센서들 등을 포함한다. 다양한 실시양태에서, 의료 기구(226)는 가요성 몸체(216)의 말단부(218)에서 또는 그 근처에서 디스플레이를 위한 시각화 시스템(231)에 의해 처리되는 이미지(비디오 이미지들을 포함함)들을 캡처하기 위한 스테레오스코픽(stereoscopic) 또는 모노스코픽(monoscopic) 카메라를 갖는 말단부를 포함하는 이미지 캡처 프로브일 수 있다. 이미지 캡처 프로브는 캡처된 이미지 데이터를 송신하기 위해 카메라에 결합된 케이블을 포함할 수 있다. 대안적으로, 이미지 캡처 기구는 시각화 시스템에 결합되는 파이버스코프와 같은 광섬유 번들일 수 있다. 이미지 캡처 기구는 예를 들어, 하나 이상의 가시광선, 적외선, 또는 자외선 스펙트럼으로 이미지 데이터를 캡처하는 단일 또는 다중 스펙트럼일 수 있다.

[0041] 의료 기구(226)는 기구의 말단부를 제어 가능하게 구부리거나, 위치시키거나, 및/또는 아니면 조작하기 위해 기구의 선단부와 말단부 사이에서 연장되는 케이블, 링크, 또는 다른 작동 제어(도시되지 않음)를 수용할 수 있다. 조종 가능한 기구들은 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된 미국 특허 제 7,316,681호 (2005년 10월 4일 출원) ("향상된 민첩성 및 감도로 최소 침습 수술을 수행하기 위한 관절형 수술 기구"를 개시함) 및 미국 특허 출원 제 12/286,644호 (2008년 9월 30일 출원) ("수술 기구들을 위한 수동 전부하(preload) 및 캡스틴 구동"을 개시함)에서 구체적으로 설명되어 있다.

[0042] 또한, 가요성 몸체(216)는 예를 들어, 말단부의 파선(219)으로 도시된 바와 같은 말단부(218)를 제어 가능하게 구부리기 위해 하우징(204)과 말단부(218) 사이에서 연장되는 케이블, 링크, 또는 다른 조종 제어(도시되지 않음)를 수용할 수 있다. 조종 가능한 카테터들은 전체가 본 명세서에 참조로서 통합된 미국 특허 출원 제 13/274,208호 (2011년 10월 14일 출원) ("이동식 비전 프로브를 갖는 카테터"를 개시함)에 구체적으로 설명되어 있다. 기구 시스템(200)이 원격 조작 조립체에 의해 작동되는 실시양태에서, 하우징(204)은 액추에이터(206)와 같은, 원격 조작 조립체의 모니터링된 구동 요소들과 제거 가능하게 결합되고 이로부터 전력을 수신하는 구동 입력을 포함할 수 있다.

[0043] 도시된 실시양태에서, 액추에이터(206)는 와이어 또는 케이블(208)에 의해 말단부(218)에 결합되는 회전 액추에이터이다. 액추에이터(206)가 그것의 축 주위를 회전에 따라, 케이블(208)의 길이는 변화하여, 파선(219)으로 도시된 이동을 야기한다. 제1 센서(210A)는 액추에이터(206)에 결합되어 액추에이터(206)의 위치, 회전의 방향, 회전의 속도, 액추에이터의 상태 등을 검출할 수 있다. 제1 센서(210A)는 도 1의 제어 시스템(112)에 의한 사용을 위해 이 정보를 인코딩할 수 있다. 또한, 의료 기구 시스템(200)의 실시양태들은 제1 센서(210A)에 의해 제공되는 동일한 종류의 정보를 제공하기 위해 액추에이터(206)와 또한 통신하는 제2 센서(210B)를 포함할 수 있다. 일부 실시양태들에서, 제1 및 제2 센서(210A 및 210B)는 상이한 감지 메커니즘을 통해 얻어진 관련 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어, 센서(210A)는 액추에이터(206)의 회전을 측정할 수 있고, 센서(210B)는 액추에이터(206)의 회전에 대응하는 와이어 또는 케이블의 병진 운동을 측정할 수 있다. 이러한 관련 정보의 유형들은 여분 정보로서 사용될 수 있다. 따라서, 제1 센서 및 제2 센서(210A 및 210B)들은 제어 시스템(112)에 여분 정보를 제공하는 여분 센서들일 수 있다. 하우징(204)의 실시양태들은 액추에이터(206)와 같은, 셋 이상의 액추에이터를 대응하는 센서들과 함께 포함할 수 있다. 또한, 하우징(204)의 일부 실시양태들은 외부적으로 배치된 액추에이터들에 접속하도록(interface) 구성된다. 예를 들어, 액추에이터(206)와 같은 하나 이상의 액추에이터는 하우징(204)과 결합하는 별개의 모터 하우징에 배치되어 하우징(204) 내에 배치된 대응하는 샤프트들 또는 캡스톤들을 구동시킬 수 있다. 샤프트들 또는 캡스톤들을 구동함으로써, 와이어 또는 케이블(208)은 원하는 운동 또는 원하는 위치로 말단부(218)를 이동시키도록 감기거나 풀릴 수 있다. 이러한 실시양태들에서, 제1 센서 및 제2 센서(210A 및 210B)들은 별개의 모터 하우징에 포함될 수 있다.

[0044] 다양한 실시양태에서, 의료 기구 시스템(200)은 폐의 검사, 진단, 생검, 또는 치료에 사용하기 위한 기관지경(bronchoscope) 또는 기관지 카테터와 같은, 가요성 기관지 기구를 포함할 수 있다. 또한, 시스템(200)은 결장, 장, 신장 및 신장 칼릭스(kidney calices), 뇌, 심장, 혈관계를 포함하는 순환계 시스템 등을 포함하는 다양한 해부학적 시스템 중 임의의 것에서, 자연적으로 또는 수술적으로 만들어진 연결된 통로들을 통한 다른 조직들의 내비게이션 및 치료에 적합할 수 있다. 실시양태들은 조립 라인 응용 또는 다른 산업 응용을 위한 것들과 같은, 비 의료용 응용들을 더 포함한다.

[0045] 시각화 시스템(231) 및/또는 수술 전에 얻어진 모델들로부터의 정보와 결합되는 내비게이션 시스템(232)으로 추적 시스템(230)으로부터의 정보가 보내져 기구 시스템(200)의 제어에서의 사용을 위해 디스플레이(110) 상의 실시간 위치 정보가 의사에게 제공될 수 있다. 제어 시스템(112)은 위치 정보를 기구 시스템(200)을 위치시키기 위한 피드백으로서 이용할 수 있다. 수술 이미지들을 갖는 수술 기구를 등록하고 디스플레이하기 위해 광섬유 센서를 사용하는 다양한 시스템들은 전체가 본 명세서에 참조로서 통합되며, 2011년 5월 13일 출원되었고, "이

미지로 안내되는 수술을 위한 해부학적 구조의 모델의 동적 등록을 제공하는 의료 시스템"을 개시하는 미국 특허 제 13/107,562호에서 제공된다.

[0046] 도 2에 도시된 바와 같이, 의료 기구(226)와 같은 의료 기구들은 수술, 생검, 절제, 조명, 관개, 또는 흡입과 같은 절차들을 위해 제공될 수 있고, 해부학적 구조 내의 목표 위치에서 사용하기 위해 가요성 몸체(216)를 통해 연장되는 하나 이상의 채널을 통해 배치될 수 있다. 예를 들어, 기구(226)가 생검 기구인 경우, 그것은 표본 조직 또는 세포 표본을 목표 해부학적 위치로부터 제거하는 데 사용될 수 있다. 또한, 의료 기구(226)는 가요성 몸체(216) 내의 이미지 캡처 프로브와 함께 사용될 수 있다. 대안적으로, 기구(226)는 그 자체가 이미지 캡처 프로브일 수 있다. 기구(226)는 절차를 수행하기 위해 말단부(218)에서 대응하는 내강의 개구로부터 전진할 수 있고, 절차가 완료될 때 내강 내로 후퇴할 수 있다. 의료 기구(226)는 카테터 가요성 몸체의 선단부(217) 또는 가요성 몸체를 따른 다른 선택적인 기구 포트(도시되지 않음)으로부터 제거될 수 있다.

[0047] 또한, 도 2는 가요성 몸체(216)의 말단부(218)에 포함된 복수의 내강 개구(236)를 도시한다. 이 개구(236)들은 의사(0)가 말단부(218)를 수술 부위에 위치시킨 후 그 부위에서 의료 기구(226)와 같은, 하나 이상의 의료 기구들을 이용할 수 있게 한다. 개구(236)는 특정 기구들을 수용하기 위한 특정 크기 및 형상의 개구들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나의 내강 개구는 말단부(218)에서 시각화를 허용하는 이미징 기구에 대한 액세스를 제공할 수 있다. 다른 내강 개구는 수술 부위에 대한 액세스를 얻기 위해 통과될 절제 프로브를 위한 개구를 제공할 수 있다. 따라서, 각각의 내강 개구(236)는 긴 가요성 몸체(216)의 길이를 따라 연장되는 채널에 대응할 수 있다. 이는 수술 절차들을 포함하는 의료 절차들의 수행을 최소 침습 방식으로 용이하게 할 수 있다.

[0048] 의료 기구 시스템(200)은 의료 시스템(100)에서의 결함들 또는 고장들을 모니터링하기 위한 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합에 의해 제공될 수 있는 결함 모니터(240)를 더 포함한다. 본 명세서에서 더 설명되는 바와 같이, 결함 모니터(240)는 결함들을 분류하는 결함 반응 논리 관리자(supervisor)를 제공할 수 있다. 예를 들어, 결함들은 중요하거나, 중요하지 않은 것으로 분류될 수 있다. 결함 모니터(240)는 의료 기구 시스템(200)과 같은 의료 시스템(100) 및/또는 그것의 구성요소들을 그들의 분류 및/또는 결함의 다른 식별 특징들에 의존하여 결함들에 응답하도록 지시하도록 동작할 수 있다. 예를 들어, 결함 모니터(240)는 제1 센서 및 제2 센서(210A 및 210B)로부터의 정보를 수신할 수 있고, 각각의 센서에 의해 제공된 정보 사이의 차이를 식별할 수 있다. 결함 모니터(240)는 그 차이가 시스템 결함 및/또는 그러한 결함의 레벨 또는 분류로서의 자격이 있는지 여부를 결정할 수 있다. 일부 실시양태에서, 결함 모니터(240)는 도 1에 도시된 제어 시스템(112)의 서버 시스템 또는 서비스로서 포함될 수 있다.

[0049] 도 3a 및 3b는 환자(P)가 수술대(T) 위에 위치한 일부 실시양태에 따른 예시적인 수술 환경(300)을 도시한다. 환자(P)는 총 환자 이동(gross patient movement)이 진정제, 억제, 또는 다른 수단에 의해 제한된다는 의미에서 수술 환경 내에서 고정될 수 있다. 수술 환경(300) 내에서, 의료 기구(304)는 기구 캐리지(306)에 결합된다. 다양한 실시양태에서, 의료 기구(304)는 EM 센서들, 형상 센서들, 및/또는 다른 센서 방식들을 사용할 수 있다. 기구 캐리지(306)는 수술 환경(300) 내에 고정된 삽입 스테이지(308)에 장착된다. 대안적으로, 삽입 스테이지(308)는 이동 가능하지만 수술 또는 환자 좌표계 내에서 알려진 위치(예를 들어, 추적 센서 또는 다른 추적 디바이스를 통하여)를 가질 수 있다. 기구 캐리지(306)는 삽입 운동을, 및 선택적으로 요, 피치, 및 롤을 포함하는 다수의 방향으로 기구의 말단부의 운동을 제어하기 위해 기구(304)에 결합하는 원격 조작 조립체(예를 들어, 조작기 조립체(102))의 구성요소일 수 있다. 기구 캐리지(306) 또는 삽입 스테이지(308)는 삽입 스테이지를 따라 기구 캐리지의 운동을 제어하는 서보모터(도시되지 않음)들을 포함할 수 있다. 기구 캐리지(306)의 일부 실시양태들은 도 2와 관련하여 위에 설명된 바와 같은, 기구 백엔드 하우징으로부터 분리된 구동 모터 하우징을 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 의료 기구(304)는 도 2의 의료 기구 시스템(200)에 의해 제공될 수 있다. 이 서보모터들 또는 액추에이터들은 도 1의 제어 시스템(112)과 같은 제어 시스템에 연관된 측정들을 제공하기 위해 하나 이상의 센서를 가질 수 있다.

[0050] 의료 기구(304)는 그것의 선단부에서 강성 기구 하우징(312)에 결합된 가요성 카테터(310)를 포함할 수 있다. 강성 기구 하우징(312)은 기구 캐리지(306)에 대해 결합되고 고정된다. 의료 기구(304)는 카테터(310)가 도 2의 가요성 몸체(216)에 대응하도록 의료 기구 시스템(200)과 실질적으로 유사할 수 있다.

[0051] 위치 측정 디바이스(320)는 강성 기구 하우징(312)이 삽입 축(A)을 따라 삽입 스테이지(308) 상에서 이동함에 따라 그것의 위치에 대한 정보를 제공한다. 위치 측정 디바이스(320)는 리졸버(resolver), 인코더, 전위차계, 및 기구 캐리지(306)의 운동을 제어하고 결과적으로 강성으로 부착된 기구 하우징(312)의 운동을 제어하는 모터 샤프트의 회전 및 배향을 결정하는 다른 메커니즘을 포함할 수 있다. 여분 정보 수집 디바이스들은 기구 캐리

지(306)의 위치, 속도 등에 관한 여분 정보를 제공할 수 있다. 이 실시양태에서, 삽입 스테이지(308)는 선형이지만, 다른 실시양태에서는 곡선형이거나 곡선형 및 선형인 영역들의 조합을 가질 수 있다. 도 3a는 삽입 스테이지(308)를 따른 후퇴 위치에서의 기구 하우징(312) 및 캐리지(306)를 도시한다. 도 3b에서, 기구 하우징(312) 및 캐리지(306)는 삽입 스테이지(308)의 선형 트랙을 따라 전진하고 카테터(310)의 말단부는 환자(P) 내부로 전진한다. 이 전진 위치에서, 선단부(316)는 축(A) 상의 위치(L_1)에 있다.

[0052] 의료 기구(304)의 실시양태들은 EM 감지 및 광섬유 형상 감지를 포함하는 임의의 수의 방식들을 사용하여 측정된 포인트들을 수집할 수 있다. 측정된 포인트들의 집합은 의료 기구(304)의 형상을 환자 해부학적 구조의 컴퓨터 모델에 등록하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 수술 전 또는 수술 중 이미지들은 환자(P)로부터 수집되어 해부학적 구조의 부분의 3차원 컴퓨터 모델을 생성하는 데 사용될 수 있다. 의사(0)가 수술 부위 및 주변 조직들을 더 잘 관찰할 수 있게 하기 위해, 모델은 의료 기구(304)에 등록되어 그것들을 공통 공간(common space)으로 가져갈 수 있다.

[0053] 도 4a, 4b, 4c, 및 4d는 도 1 및 도 3의 환자(P)의 폐(400)의 해부학적 통로(402)를 통한 도 3a 및 도 3b의 카테터(310)의 전진을 도시한다. 이 통로들(402)은 기관 및 기관지를 포함한다. 캐리지(306)가 삽입 스테이지(308)를 따라 이동함에 따라 카테터(310)가 전진되는 경우, 의사(0)는 카테터(310)의 말단부(318)가 해부학적 통로(402)를 통해 진행하도록 조종할 수 있다. 해부학적 통로(402)를 통해 진행하는 경우, 카테터(310)는 카테터(310) 내에서 연장되는 형상 센서(314)에 의해 측정될 수 있는 형상을 취한다.

[0054] 도 5는 시스템에서 일어날 수 있는 결함들을 검출, 분류, 및 완화하기 위해 도 2의 의료 기구 시스템(200) 및 도 3a 및 도 3b의 기구(304)와 같은 가요성 로봇 시스템을 제어하기 위한 방법(500)을 도시하는 흐름도이다. 방법(500)은 열거된 몇 개의 단계들 또는 동작들로 도시된다. 이 동작들의 실시양태는 환자에 대한 가요성 로봇 시스템의 특정 상태 및 가요성 로봇 시스템의 구성요소의 위치를 고려하여 결함을 적절하게 처리하기 위한 시스템을 제공할 수 있다. 방법(500)의 실시양태는 열거된 동작들의 전, 후, 사이, 또는 열거된 동작들의 일부로서 추가적인 동작을 포함할 수 있다. 방법(500)의 일부 실시양태는 도 1의 제어 시스템(112)과 같은, 제어 시스템에 의해 구현될 수 있다.

[0055] 방법(500)의 실시양태가 제어 시스템(112)이 가요성 로봇 시스템의 동작 상태를 결정하는 동작(502)에서 시작될 수 있다. 로봇 시스템의 동작 상태는 가요성 몸체(216) 또는 카테터(310)와 같이, 긴 가요성 몸체와 같은 가요성 로봇 시스템의 구성요소들의 현재 구성을 특징짓는 정보를 포함할 수 있다. 예를 들어, 동작 상태는 폐와 같은 장기의 특정한 해부학적 통로 내에서 긴 가요성 몸체를 위치시키는 정보를 포함할 수 있다. 도 6a에 도시된 바와 같이, 긴 가요성 몸체(602)는 폐(604)의 통로 내에 위치된다. 긴 가요성 몸체(602)는 가요성 몸체(602)를 특징짓는 형상 정보를 제공하기 위해 하나 이상의 광섬유 코어를 포함할 수 있다. 폐(604)의 모델과 가요성 몸체(602)의 형상 사이의 정합(registration)은 가요성 로봇 시스템의 동작 상태의 일부로서 폐(604)와 가요성 몸체(602)를 관련시키는 정보를 제공할 수 있다. 또한, 동작 상태는 가요성 몸체(602)의 말단부(606)의 위치를 포함할 수 있다. 동작 상태는 예를 들어, 생검 도구, 비전 프로브, 또는 절개 기구와 같은 긴 가요성 몸체(602)에 삽입되는 도구의 유형에 대한 정보를 더 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 바늘(608)은 폐(604)의 통로 내에서 말단부(606)로부터 배치된다. 예를 들어, 바늘(608)은 생검 절차에 사용되는 생검 바늘일 수 있다. 게이지 크기 및 구성 정보와 같은 바늘을 설명하는 정보가 동작 상태에 포함될 수 있다. 또한, 작업흐름 내의 단계가 동작 상태 내에 포함될 수 있다. 예를 들어, 동작 상태는 현재 작업흐름이 생검 작업흐름의 삽입 천공 단계에 있다는 표시를 포함할 수 있다. 삽입 센서는 바늘(608)이 가요성 몸체(602)의 말단부(606)로부터 얼마나 멀리 돌출되는지를 결정하는 데 사용될 수 있다. 또한, 가요성 로봇 시스템의 동작 상태는 시스템의 구동 모드를 포함할 수 있다. 예를 들어, 시스템의 동작 상태는 시스템이 의사의 의도가 기구를 구동하는 것인 "구동" 모드에 있고, 시스템이 지시된 이동에 반응하고 이를 생성하도록 배치되어 있다는 것을 표시할 수 있다. 또는 동작 상태는 시스템이 의사의 의도가 시스템이 기구의 현재 형상을 유지하도록 하는 것인 "잠금" 모드에 있음을 표시할 수 있다. 의사(0)는 마스터 조립체(106)를 통해 가상 또는 물리적 사용자 인터페이스 제어를 조작함으로써 이 모드들 중 하나 또는 다른 모드를 선택할 수 있다. 늑막(pleura)(610)으로부터의 거리 또는 폐(604)의 다른 특징과 같은 다른 정보는 가요성 로봇 시스템의 동작 상태에 포함될 수 있다.

[0056] 동작(504)에서, 제어 시스템(112)은 가요성 로봇 시스템의 하나 이상의 구성요소에서의 결함을 검출할 수 있다. 예를 들어, 제어 시스템(112)은 도 2의 액추에이터(206)와 같은, 모터 또는 액추에이터 상의 여분의 센서가 임계값을 초과하여 불일치하거나 다르다는 것을 결정할 수 있다. 다른 결함이 폐(604)의 모델과 가요성 몸체(602) 사이의 정합의 문제에 의해 유발될 수 있어, 정합은 그 때에는 바늘(608)을 이용한 생검을 얻기 위해 신

되되어서는 안 된다. 오류 값과 같은 정합의 품질 표시자는 정합이 신뢰될 수 있는지 여부를 결정하는 데 사용될 수 있다. 명령이 마스터 조립체(106)에서의 입력이지만, 바늘(608)을 이용한 가요성 몸체(602)의 대응하는 이동이 제어 시스템(112)에 의해 관찰되지 않는 경우 다른 결함이 일어날 수 있다. 유사하게, 가요성 몸체(602) 또는 바늘(608)의 이동이 마스터 조립체(106)으로부터 수신된 임의의 긍정 명령이 없는 경우 제어 시스템에 의해 관찰되지 않을 때 결함이 일어날 수 있다. 명령된 이동과 의료 기구의 형상 또는 포즈 사이에서 차이가 검출되는 경우 의사(0)가 의도하지 않은 이동이 초래되었다는 것을 표시하는 다른 결함이 일어날 수 있다. 일례에서, 센서들(210A 또는 210B)과 같은 케이블 길이의 변화를 제공하는 회전 액추에이터의 측정을 위한 인코더는 가요성 몸체(216)에 대해 계산되는 것과 유사한 방식으로 가요성 몸체(602)의 예상되는 형상을 계산하는데 사용될 수 있다. 형상 센서(314)와 같은 형상 센서들로 측정된 계산된 또는 예상된 형상과 측정된 형상 사이의 차이가 검출되는 경우, 결함이 일어날 수 있다. 또한, 조각기 조립체(102), 마스터 조립체(106), 센서 시스템(108), 및 제어 시스템(112) 자체를 포함하는 원격 조작 의료 시스템(100)의 임의의 구성요소에 의한 코드의 실행 동안 결함이 일어날 수 있다. 일반적으로 결함은 잠재적으로 안전하지 않은 동작 상태의 임의의 표시일 수 있다. 예를 들어, 도 2의 센서들(210A 및 210B)은 도 6의 가요성 몸체(602)의 말단부(606)를 제어하는데 사용되는 액추에이터(206)의 상태의 상이한 표시를 제공할 수 있다. 결함은 센서(210)로부터 오는 정보가 신뢰성이 없음을 표시할 수 있고, 동작 상태는 바늘(608)이 말단부(606)로부터 약 3mm 연장되었음을 표시할 수 있다. 센서(222)로부터 오는 정보가 제어 시스템(112)에 의해 결함 데이터인 것으로 결정되는 경우 다른 결함이 발생할 수 있다.

[0057] 동작(506)에서, 제어 시스템은 환자(P)의 높은 레벨의 안전을 보장하는 적절한 응답을 제공하기 위해 결함을 분류한다. 많은 상이한 휴리스틱(heuristic)이 검출된 결함들을 분류하는 데 사용될 수 있다. 이러한 휴리스틱은 운동 시스템, 생리학적 감지 시스템, 통신 시스템과 같은, 결함에 연루된 시스템 또는 서브시스템을 포함할 수 있다. 결함은 유래(originating) 시스템(즉, 오류가 유래한(originated) 시스템)뿐만 아니라 이러한 유래 시스템에 의존하는 시스템들을 연루시킬 수 있다. 예를 들어, 운동 작동 시스템의 제2 결함은 이동될 구성요소와 연관된 포즈 정보를 제공하는 데 사용되는 센서 시스템의 제1 결함에 의해 연루될 수 있다. 예를 들어, 결함이 두 개의 여분 센서 사이의 불일치 또는 특정 임계값을 초과하는 현재 정합과 연관된 오류 값과 같은, 가요성의 긴 몸체의 운동 또는 위치에 관한 고장을 표시하는 경우, 결함이 운동 작동 결함으로 분류될 수 있다. 운동 작동 결함은 현재 추적 오류, 런어웨이(runaway) 제어 루프, 또는 결함이 있는 제1 또는 제2 피드백 센서를 표시할 수 있다. 예를 들어, 센서들(210A 및 210B)과 같은 여분 센서들 사이의 불일치는 제어 시스템(112)에 의해 운동 작동 결함으로 분류될 것이다.

[0058] 운동 작동 결함은 고장을 검출하는 센서의 유형에 기반하여 더 분류될 수 있다. 예를 들어, 가요성의 긴 몸체의 말단부의 구부림 팁 각도를 측정하는 말단 측정 센서와 같은 측정 센서의 고장은 말단 센서 결함으로 분류될 수 있다. 말단 측정 센서는 긴 가요성의 몸체의 말단부로부터 선단부까지 위치한 형상 센서(222)와 같은 광섬유 센서, 가요성의 긴 몸체의 말단부 근처에 위치한 복수의 EM 센서, 또는 가요성의 긴 몸체의 말단부의 구부림 팁 각도를 측정하는 말단 인코더를 포함할 수 있다. 또한, 말단 측정은 가요성의 긴 몸체의 선단부에 선단 센서를 포함할 수 있다. 선단 센서는 카테터 시스템(202)이 구부러지게 하는 케이블(208)을 구동하는 액추에이터(206) 상의 센서(210A)와 같은, 가요성의 긴 몸체 내의 케이블을 구동하도록 구성된 액추에이터 상의 모터 인코더를 포함할 수 있다. 의료 기구 시스템(200)과 같은 의료 기구 시스템의 정보와 결합된 모터 인코더에 의해 측정된 액추에이터의 회전은 예상되는 구부림 팁 각도를 계산하는데 사용될 수 있다. 의료 기구 시스템 정보는 입력 모터와 출력 액추에이터 사이의 구동트레인(drivetrain)에서의 마찰, 가요성 몸체에서의 순응, 케이블의 예상되는 변형 등의 측정 또는 추정을 포함할 수 있다.

[0059] 말단 측정 센서 자체의 고장이 있는 경우, 예를 들어, 광섬유 센서 내의 여분의 광섬유 코어가 임계 차이를 초과하는 판독을 제공하는 경우 검출된 결함은 말단 센서 결함으로 분류될 수 있다. 또는, 결함은 말단 측정 센서가 특정 노이즈 임계값을 초과하는 판독 또는 임계값을 초과하는 과도한 편차가 나타내는 판독을 포함하는, 낮은 품질의 판독을 제공하는 경우 말단 센서 결함으로 분류될 수 있다. 다른 예에서, 센서들(210A 및 210B)과 같은 여분 센서 사이의 임계값을 초과하는 불일치는 선단 센서에서의 오류를 표시할 것이다. 다른 예에서, 말단 인코더와 모터 인코더와 같은 복수의 말단 측정 센서 사이, 또는 광섬유 센서와 모터 인코더 사이의 불일치는 말단 센서 결함으로 검출될 것이다.

[0060] 오류의 발생은 검출된 결함을 더 분류하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 말단 측정 센서는 임계값의 외부에서 불일치를 나타낼 수 있지만, 일정 기간 동안 산발적으로 오류를 나타내기만 할 수 있다. 일례에서, 결함은 오류가 제어 루프의 특정한 수의 연속 서보-주기에 대해 검출되는 경우에만 검출되고 분류될 수 있다. 일부 예

에서, 노이즈가 많은 것으로 분류된 데이터는 말단 측정 센서 판독을 보충하기 위해 복수의 말단 측정 센서의 조합으로부터의 정보와 결합될 수 있다. 예를 들어, 노이즈가 많은 데이터는 필터(예를 들어, 칼만 필터)를 통한 정보를 이용해 보충되어 선단 센서 정보, 말단 센서 정보, 및 구동트레인의 모델을 결합하여 높은 노이즈 레벨의 판독에 대해 보다 잘 견딜 수 있는(tolerant) 구부림 톱 각도의 보다 정확하고 견고한(robust) 추정을 제공할 수 있다. 결합은 가요성의 긴 몸체의 운동 또는 위치와 연관되지 않은 결합이 고장을 표시하는 경우, 비 운동 작동 결합으로 대안적으로 분류될 수 있다. 비 운동 작동 결합은 디스플레이 시스템 또는 통신 시스템과 관련된 결합일 수 있고, 또는 긴 가요성 부재 및/또는 긴 가요성 부재에 도입된 기구들의 운동 및 포즈 이외의 양태들과 연관된 알고리즘 및 대응하는 코드와 관련된 결합일 수 있다.

[0061] 계량될 수 있는 다른 휴리스틱 또는 요소는 결합의 유형을 포함할 수 있다. 예를 들어, 물리적 구성요소와 연관된 결합은 실행(runtime) 중 나타나는 소프트웨어의 오류(bug)와 연관된 결합과 상이할 수 있다.

[0062] 동작(508)에서, 제어 시스템(112)은 가요성 로봇 시스템의 동작 상태 및 제어 시스템(112)에 의해 검출된 결합의 분류에 기반하여 가요성 로봇 시스템 상에 결합 반응 상태를 부과한다. 가요성 로봇 시스템이 환자(P)의 해부학적 구조 내에 위치한 경우, 결합에 대한 적절한 응답은 결합 및 동작 상태의 분류로부터 얻을 수 있는 몇 가지 요소들에 의존할 수 있다. 예를 들어, 운동 작동 결합에 대한 적절한 응답은 가요성 몸체(602)에 작용하는 힘들에 능동적으로 저항하도록 제자리의 가요성 몸체(602)를 잠그는 것, 즉, 액추에이터들이 활성화되어 긴 몸체의 포즈를 유지하도록 반대 힘을 제공하는 것이다. 운동 작동 결합에 대한 다른 적절한 응답은 가요성 몸체(602)에 결합된 액추에이터들을 제어하여(예를 들어, 감소된 토크를 가하거나, 액추에이터를 비활성화하거나, 또는 제어 신호의 비례 부분을 0으로 전환함) 가요성 몸체(602)의 유효 강성을 감소시키거나 주변의 해부학적 구조에 의해 가해지는 임의의 힘에 대한 최대 순응을 가능하게 하는 것일 수 있다. 운동 작동 결합에 대한 다른 적절한 응답은 결합이 검출된 때 포즈를 유지하기에 충분한 힘으로 액추에이터를 활성화시키지 않으면서 가요성 몸체(602) 상의 힘에 대해 약간의 저항을 제공하기에 충분하도록 액추에이터를 활성화시키는 것일 수 있다.

[0063] 유사하게, 결합 반응 상태는 가요성 몸체(602)의 말단부(606) 내에 위치되거나 그로부터 돌출된 하나 이상의 기구의 이동을 지시할 수 있다. 예를 들어, 결합을 검출하면, 제어 시스템(112)은 동작 상태가 바늘(608)이 긴 가요성 몸체(602)의 말단부(606)로부터 돌출되어 있다는 것을 표시하는 것을 결정한다. 긴 가요성 몸체(602)와 폐(604)의 모델 사이의 정합은 긴 가요성 몸체(602)가 폐(604)의 부분에 대해 힘(F1)을 가하고 있다는 것을 표시할 수 있다. 긴 가요성 몸체(602)의 포즈를 완화하기보다는, 결합 반응 상태는 바늘(608)의 후퇴를 지시할 수 있다. 일부 실시양태에서, 제어 시스템(112)은 바늘(608) 및 긴 가요성 몸체(602)를 삽입하고 후퇴시키기 위한 모터 또는 액추에이터 시스템을 포함할 수 있는 하우징(204)과 통신하여 바늘(608)을 자동적으로 후퇴시킬 수 있다. 이러한 후퇴는 바늘(608)이 말단부(606) 근처에 남아 있지만 긴 가요성 몸체(602) 내에 완전히 포함되도록, 바늘(608)을 포함하는 의료 기구의 삽입 축을 따라 제한될 수 있다. 이러한 방식으로, 제어 시스템(112)은 바늘(608)이 폐(604)의 해부학적 통로의 벽과 접촉하는 것을 방지할 수 있다. 일부 실시양태에서, 바늘(608)이 가요성 몸체(602) 내로 후퇴된 후에, 의사(0) 또는 다른 운전자는 가요성 몸체(602)가 폐(604) 또는 다른 해부학적 구조물에 의해 부과된 힘에 순응하도록 가요성 몸체(602)를 수동으로 분리할 수 있다. 제어 시스템(112)은 분리를 검출하고 이것을 가요성 로봇 시스템의 동작 상태의 변화로서 반영할 수 있다.

[0064] 바늘(608), 또는 다른 의료 기구의 가요성 몸체(602) 내로의 후퇴는 가요성 로봇 시스템의 동작 상태의 변화를 초래할 수 있다. 제어 시스템(112)은 동작 상태에서의 이러한 변화를 검출하고 현재 결합 반응 상태가 유지되거나, 제거되거나, 또는 상이한 결합 반응 상태에 의해 대체되어야 하는지 여부를 결정할 수 있다. 예를 들어, 바늘(608)이 안전하게 후퇴된 후에, 제어 시스템(112)은 결합이 검출된 때 긴 가요성 몸체(602)를 그 포즈로 잠그기 위해 이전에 사용된 액추에이터에 전류를 차단(de-energize)할 수 있다. 전류가 차단된 액추에이터는 폐(604)의 벽에 의해 긴 가요성 몸체(602) 상에 위치한 복원력(F2)에 대한 저항을 제공하지 않거나, 감소된 저항을 제공할 수 있다. 도 6c에 도시된 바와 같이, 새로운 결합 반응 상태는 긴 가요성 몸체가 응답하여 긴 가요성 몸체(602)의 형상을 변화시키는 힘(F2)(도 6a 및 도 6b에 존재하지만, 힘(F1)에 의해 반작용됨)에 따르도록 허용할 수 있다.

[0065] 일부 실시양태에서, 결합 반응 상태는 동시에 또는 결합되어 수행될 수 있는 긴 가요성 몸체(602) 및 바늘(608) 모두에 대한 동작을 포함할 수 있다. 예를 들어, 긴 가요성 몸체(602)는 바늘(608)이 후퇴되는 동시에 제자리에 잠길 수 있다. 다른 예에서, 긴 가요성 몸체(602)의 유효 강성은 바늘(608)이 동시에 수축되는 동안 시간에 대해 특정 비율로 감소될 수 있다. 다른 예에서, 긴 가요성 몸체(602)의 유효 강성은 긴 가요성 몸체(602)가 동시에 후퇴하고, 차례로 바늘(608)을 후퇴시키는 동안 시간에 대해 특정 비율로 감소될 수 있다. 따라서, 결

함 동안 바늘이 페(406)의 벽의 조직 내에 삽입되면, 긴 가요성 몸체(602)는 바늘(608)을 자동적으로 후퇴시켜, 긴 가요성 몸체(602)가 바늘에 의한 조직의 잠재적인 손상을 방지하는 강성으로 감소되는 동안 바늘을 조직으로부터 제거할 수 있다. 바늘(608)의 자동적인 후퇴 또는 긴 가요성 몸체(602)의 자동적인 후퇴 중 하나, 또는 둘 모두를 이용하여 반응은 특정 후퇴 거리 이상일 수 있고, 일단 완료되면, 도 3a 및 도 3b의 삽입 스테이지(308)와 같이 삽입 스테이지 모터 또는 삽입 액추에이터가 바늘(608)의 삽입 또는 긴 가요성 몸체(602)의 삽입을 제어하고, 제어 시스템은 삽입 축을 따라 바늘(608) 또는 긴 가요성 몸체(602)의 이동을 파킹(park)하거나 잠글 수 있다. 삽입 액추에이터는 능동 서보 제어 모드에 놓일 수 있거나, 삽입 액추에이터는 디스에이블(disable)되고, 브레이크가 결합되어 바늘(608) 및/또는 긴 가요성 몸체(602)의 삽입 위치를 잠글 수 있다. 긴 가요성 몸체(602)의 유효 강성은 바늘(608) 또는 긴 가요성 몸체(602)가 완료되었을 때 페(604)의 벽에 의해 긴 가요성 몸체(602) 상에 위치한 복원력(F2)에 대해 감소된 저항을 제공하거나 저항을 제공하지 않는 프로파일에 따라 감소될 수 있다.

[0066] 다른 실시양태에서, 제어 시스템(112)은 먼저 긴 가요성 몸체(602)를 완화시킬 수 있다. 그 다음, 긴 가요성 몸체(602)의 완화된 상태는 동작 상태에 포함될 수 있다. 제어 시스템(112)은 새로운 결합 반응 상태를 부과할 수 있고, 바늘(608)은 완화된 긴 가요성 몸체(602) 내로 자동적으로 후퇴된다. 예를 들어, 동작 상태가 긴 가요성 몸체(602)의 말단부(606) 또는 바늘(608)의 말단부가 늑막(610)으로부터 임계 거리 내에 있음을 표시하는 경우, 초기 결합 반응 상태는 긴 가요성 몸체를 완화하기 전에 바늘(608)을 후퇴시킬 수 있다. 즉, 초기 결합 반응 상태는 바늘(608)을 후퇴시키는 것 및 긴 가요성 몸체(602)를 잠그는 것을 포함할 수 있다. 동작 상태에서 변화가 검출되는 경우, 새로운 결합 반응 상태가 제어 시스템(112)에 의해 지시될 수 있다. 일부 실시양태에서, 결합 반응 상태는 동작 상태에서의 변화를 참조하지 않고 또는 카운터 표시 동작 상태가 검출되지 않은 경우, 수행되는 일련의 동작들을 포함할 수 있다. 다른 실시양태에서, 결합 반응 상태는 수행될 때 새로운 동작 상태를 초래하는 단일 동작을 포함할 수 있다. 표시된 바와 같이, 새로운 동작 상태에 도달했을 때 결합이 여전히 존재하면, 새로운 결합 반응 상태가 제어 시스템에 의해 부과될 수 있고, 방법은 동작(508)에서 동작(502)으로 이동할 수 있다.

[0067] 일반적으로, 제어 시스템(112)은 초당 특정 횟수와 같이, 정기적으로 결합을 검사할 수 있다. 예를 들어, 제어 시스템(112)은 초당 약 1000회로 결합을 검사할 수 있다. 제어 시스템(112)에 의해 수행되는 검사의 빈도는 환자 안전을 손상시킬 수 있는 시스템 고장을 방지하는 데 도움을 주며, 가능한 작은 딜레이로 적절한 동작들을 취함으로써 이러한 고장 또는 결합의 완화를 용이하게 할 수 있다. 일부 실시양태에서, 특정 결합은 복수의 연속적인 검출 주기 또는 복수의 검출 주기 중 특정 비율에 대해 검출될 필요가 있을 수 있다. 예를 들어, 위치 파악 센서와 관련된 결합이 검출되고 20ms(또는 10ms 또는 5ms와 같은 다른 임계 시간 값)보다 길게 지속되는 경우, 제어 시스템(112)은 가요성 로봇 시스템 상에 적절한 결합 반응 상태를 부과하는 동작을 취할 수 있다. 이러한 임계 시간 기간은 수술 작업흐름의 특정한 단계에서의 특정한 결합에 대해 개별적으로 설정될 수 있다. 예를 들어, 제어 시스템(112)은 케이블들을 완화시켜 가요성의 긴 몸체가 가요성의 긴 몸체 주변의 해부학적 구조물에 의해 가해지는 힘에 순응하는 수동 단계로 들어가도록 할 수 있다. 기간이 종료될 때까지 결합이 끝나거나 더 이상 검출되지 않으면 제어 시스템(112)은 동작을 취하지 않는다. 일부 실시양태에서, 결합의 기간 동안 관련된 시스템으로부터 수집된 데이터는 폐기될 수 있다. 또한, 제어 시스템(112)은 예를 들어, 운전자 입력 또는 운전자 동작에 의해, 결합이 해결될 수 있는 기간 동안 가요성 로봇 시스템을 "잠글" 수 있다. 다른 실시양태에서, 제어 시스템(112)은 가요성 로봇 시스템의 재시작이 요구될 수 있음을 표시할 수 있다.

[0068] 일부 실시양태에서, 오류 또는 불일치는 검출된 결합을 초래하지 않을 수 있지만, 제어 시스템이 결합 반응 상태를 부과하도록 할 수 있다. 예를 들어, 환자 이동 또는 환자 테이블(T)의 이동은 정합을 부정확하게 할 수 있다. 다른 예에서, 의사(O) 또는 의료 요원은 조작기 조립체(102)와 같은 조작기 조립체를 잡을 수 있고(clutch), 환자의 해부학적 구조에 잠재적으로 손상을 야기할 수 있는, 환자(P) 내의 가요성 몸체(602)와 같은 가요성의 긴 몸체의 위치를 수동으로 교체할 수 있다. 제어 시스템은 환자의 해부학적 구조에 대한 손상을 피하도록 가요성 몸체의 유효 강성을 감소시키는 결합 반응 상태를 부과할 것이다. 다른 실시양태에서, 환자 이동, 환자 테이블(T)의 이동, 또는 조작기 조립체의 수동 이동은 분류되어 제어 시스템이 결합 반응 상태를 부과하도록 하는 결합으로 간주될 수 있다.

[0069] 이제 도 7을 참조하면, 일부 실시양태에서, 제어 시스템(112)에 의해 부과된 결합 반응 상태는 의사(O) 또는 의사(O) 옆에서 작업하는 다른 운전자와 같은, 운전자에 대한 통지 또는 경고를 포함할 수 있다. 도 7은 그래픽 사용자 인터페이스(700)를 도시하는 도 1의 디스플레이(110)의 실시양태를 도시한다. 디스플레이(110)는 긴 가요성 몸체(602)의 이미지와 함께, 도 6a 내지 도 6c와 관련하여 위에 설명된 페(604)의 이미지를 도시한다. 페

(604)의 이미지는 수술 전 또는 수술 중의 이미지로부터 유도된 모델에 의해 제공될 수 있다. 유사하게, 긴 가요성 몸체(602)의 이미지는 그 길이를 따라 연장되는 형상 감지 광섬유와 같은, 긴 가요성 몸체(602)를 따라 분포된 하나 이상의 센서로부터 얻어진 포즈 데이터로부터 유도될 수 있다. 정합 이후, 폐(604)의 모델 및 긴 가요성 몸체(602)의 모델은 공동으로 렌더링되어 외부에서 관찰할 수 없는 내부 수술 부위의 범위 내의 내비게이션 및 동작을 용이하게 할 수 있다. 결함 상태가 발생하는 경우, 제어 시스템(112)은 결함 메시지(702)가 디스플레이(110)에 대해 렌더링되도록 할 수 있다. 결함 메시지(702)의 위치는 결함의 분류 및 가요성 로봇 시스템의 동작 상태에 의존할 수 있다. 예를 들어, 제어 시스템(112)은 긴 가요성 몸체(602)의 말단부(606)의 시야를 방해하도록 운동 작동 결함에 응답하는 결함 메시지(702)가 디스플레이되도록 할 수 있다. 긴 가요성 몸체(602)의 동작부가 관찰을 방해할 때, 의사(0)는 자연스럽게 마스터 조립체(106)를 통한 명령을 발행하기를 멈출 수 있다. 다른 실시양태에서, 운동 작동 결함이 검출되는 경우에도, 제어 시스템(112)은 결함 메시지(702)가 긴 가요성 몸체(602)의 말단부의 관찰을 방해하지 않는 디스플레이(110)의 영역에서 나타나게 할 수 있다.

[0070] 일부 실시양태에서, 결함 메시지(702)는 의사 또는 가요성 로봇 시스템의 다른 운전자에 대한 명령어를 포함할 수 있다. 예를 들어, 결함 메시지(702)는 바늘(608)과 같은 하나 이상의 의료 기구가 긴 가요성 몸체(602)로부터 수동으로 제거되거나 긴 가요성 몸체(602)로 수동으로 후퇴되어야 한다는 것을 의사(0)에게 표시할 수 있다. 다른 예와 같이, 결함 메시지(702)는 바늘(608)의 부분이 긴 가요성 몸체(602)의 말단부(606)로부터 돌출되지 않도록, 바늘(608)이 긴 가요성 몸체(602)로 자동적으로 후퇴될 것이라는 것을 의사(0)에게 표시할 수 있다. 결함 메시지(702)는 선택 가능한 사용자 인터페이스 요소일 수 있는 하나 이상의 결함 옵션(704)(결함 옵션(704A 및 704B)이 도시됨)을 더 포함할 수 있고, 의사(0) 또는 다른 운전자는 결함 메시지(702)에 의해 의사(0)에게 통신된 상태들의 집합을 고려하여 다른 결함 반응 상태보다 하나의 결함 반응 상태에 대한 요구를 제어 시스템(112)으로 통신할 수 있다. 또한, 의사(0)는 결함 메시지(702)에 표시된 수동 동작이 수행되었다는 것을 제어 시스템(112)에 표시할 수 있다. 예를 들어, 결함 메시지(702)는 검출되었던 검출 운동 작동 결함, 및 바늘(608), 또는 임의의 다른 수술 기구가 긴 가요성 몸체(602)로부터 제거되거나 그로부터 후퇴되어야 함을 표시할 수 있다. 제어 시스템(112)이 후퇴(withdraw) 또는 후퇴를 자동적으로 수행할 수 없는 경우, 의사(0)는 그렇게 하도록 지시 받을 수 있고, 결함 옵션(704)을 선택하여 제어 시스템(112)이 결함 완화 동작을 더 재개하거나 적절하게 정상 동작들을 재개하도록 이 동작이 수동으로 수행되었다는 것을 제어 시스템(112)에 통신할 수 있다. 일부 실시양태에서, 제어 시스템(112)이 결함 반응 상태의 일부로서 동작을 자동적으로 취하는 경우에도, 의사(0)가 동작을 승인함을 요구하고 의사(0)에게 긴 가요성 몸체(602)를 제위치로 잠그는 것을 무시하는 것과 같은, 동작을 무시할 수 있는 능력을 제공하는 결함 메시지(702)가 디스플레이(110)에 제시될 수 있다.

[0071] 일부 실시양태에서, 다양한 유형의 결함 반응 상태가 검출된 결함의 분류에 기반하여 가요성 로봇 시스템 상에 부과될 수 있다. 일례에서, 결함 반응 상태는 가요성 몸체(602)가 안전 상태에 위치하는 동안 시스템이 액추에이터의 안전 서보 제어를 유지하도록 하는 비활성 안전 상태(Inactive Safe State)일 수 있다. 예를 들어, 시스템은 형상 센서가 결함 데이터를 보내는 경우 결함을 검출할 수 있다. 이 예에서, 형상 센서는 비활성 액추에이터를 필요하게 만들지 않을 수 있는 간헐적 결함을 발생시킬 수 있지만, 결함이 시스템 문제를 표시한다는 확인을 필요로 할 수 있다. 따라서, 비활성 안전 상태가 부과되는 경우, 응답은 액추에이터(206)에 대한 토크를 감소시켜 가요성 몸체(602)의 유효 강성을 감소시키는 것일 수 있다. 토크는 선형 프로파일 또는 비선형 프로파일을 따라 시간에 따른 토크의 단계적 감소를 포함하는 다양한 감소 프로파일에 따라 감소될 수 있다. 또한, 응답은 토크 명령 대신 위치 명령을 사용하여 카테터의 현재 위치를 유지하는 것을 포함할 수 있다. 마스터 조립체(106)는 디스에이블될 수 있고, 이는 시스템이 삽입 운동 및 요, 피치, 및 롤에서의 운동의 제어를 포함하는 임의의 사용자 입력 명령을 무시할 수 있음을 의미한다. 비활성 안전 상태는 검출된 결함을 제거하여 가요성 로봇 시스템의 정상 동작을 재개하는 옵션을 제공하는 통지(702)와 유사한 통지를 포함할 수 있다.

[0072] 다른 예에서, 검출된 결함은 가요성 몸체(602)를 안전 상태에 위치시키지만 액추에이터의 모터 서보 제어를 방지하는 FRL 안전 상태를 부과하는 더 심각한 결함으로 분류될 수 있다. 예를 들어, 시스템은 잠재적으로 안전하지 않은 상태를 표시할 수 있는 모터 결함, 인코더 결함, 또는 계산 결함을 감지할 수 있다. 따라서, FRL 안전 상태가 부과된 경우, 응답은 액추에이터(206)에 대한 토크를 감소시켜 가요성 몸체(602)의 유효 강성을 감소시키는 것일 수 있다. 심각한 결함에 응답하여 FRL 안전 상태가 부과되기 때문에, 토크는 현재 토크 레벨로부터 0으로 즉시 감소될 수 있다. 또한, 응답은 조작기 조립체(102)와 같은 조작기 조립체 내의 액추에이터 또는 모터로부터의 전력을 제거하는 것을 포함할 수 있다. 일례에서, 모터 또는 액추에이터 리드는 접지에 단락될 수 있고, 브레이크 효과를 제공하는 안전 브레이크가 적용될 수 있다. 일 실시양태에서, 전력은 모든 모터로부터 제거될 수 있다. 다른 실시양태에서, 심각한 결함은 특정 모터와 연관된 보다 특정한 FRL 안전 상태를 부과

하는 심각한 결함 유형으로 더 분류될 수 있다. 마스터 조립체(106)는 디스에이블될 수 있고, 이는 시스템이 삽입 운동 및 요, 피치, 및 롤에서의 운동의 제어를 포함하는 임의의 사용자 입력 명령을 무시할 수 있음을 의미한다. 일례에서, 검출된 결함은 복구 가능하거나 복구 불가능한 것으로 분류될 수 있다. 복구 가능한 결함에 대해, FRL 안전 상태는 검출된 결함을 제거하여 가요성 로봇 시스템의 정상 동작을 재개하는 옵션을 제공하는 통지(702)와 유사한 통지를 포함할 수 있다.

[0073] 본 개시의 원리 및 실시양태는 수술 절차 동안 환자 내에 위치한 구성요소를 갖는 가요성 로봇 시스템의 결함 처리를 개선시킴으로써 이미지 안내 수술(image guided surgery)을 개선시킬 수 있다. 결함을 검출하는 경우 취할 적절한 동작은 결함 자체 및 가요성 로봇 시스템의 동작 상태에 의존할 수 있기 때문에, 제어 시스템은 결함 반응 상태를 식별하고, 제정(enact) 또는 부과하여 결함으로 인해 발생할 불리한 결과를 완화시키기 위해 결함과 동작 상태 둘 다에 관한 정보를 이용하도록 제공된다.

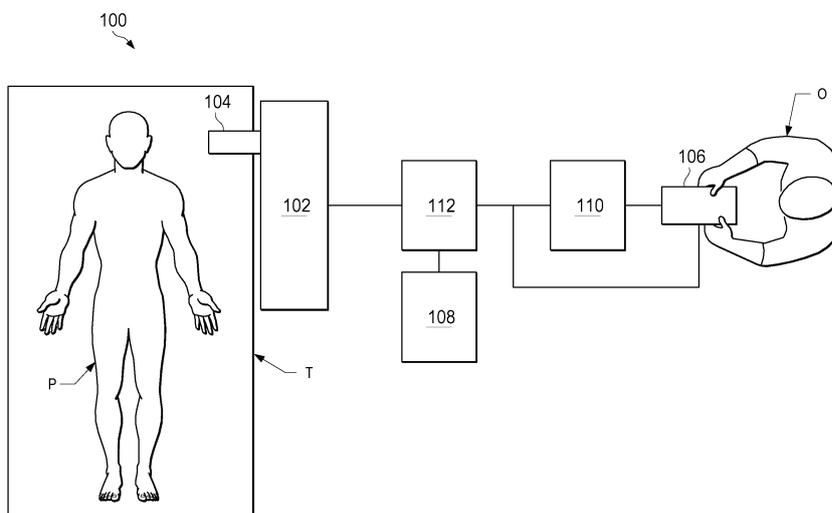
[0074] 도 5의 방법(500)을 포함하는 본 발명의 실시양태에서의 하나 이상의 요소는 제어 시스템(112)과 같은, 컴퓨터 시스템의 프로세서 상에서 실행되도록 소프트웨어로 구현될 수 있다. 소프트웨어로 구현되는 경우, 본 발명의 실시양태의 요소는 본질적으로 필요한 작업을 수행하는 코드 세그먼트이다. 프로그램 또는 코드 세그먼트는 광학 매체, 반도체 매체, 및 자기 매체를 포함하는 정보를 저장할 수 있는 임의의 매체를 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체 또는 디바이스에 저장될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 디바이스의 예는 전자 회로; 반도체 디바이스, 반도체 메모리 디바이스, 읽기 전용 메모리(ROM), 플래시 메모리, 소거가능 프로그램가능 읽기 전용 메모리(EPROM); 플로피 디스켓, CD-ROM, 광학 디스크, 하드 디스크, 또는 다른 저장 디바이스를 포함한다. 코드 세그먼트는 인터넷, 인트라넷 등과 같은 컴퓨터 네트워크를 통하여 다운로드될 수 있다. 본 명세서에서 설명된 바와 같이, 액세스, 수집, 어사인, 검출, 개시, 등록, 디스플레이, 수신, 발생, 결정, 데이터 포인트 이동, 분할, 매칭 등의 동작들은 제어 시스템(112) 또는 그 프로세서 자체에 의해 적어도 부분적으로 수행될 수 있다. 설명된 실시양태는 본 개시의 범위 내에서 다양한 방식으로 결합될 수 있다.

[0075] 제시된 프로세스 및 디스플레이는 본질적으로 임의의 특정 컴퓨터 또는 다른 장치와 관련되지 않을 수도 있음에 유의한다. 이들 다양한 시스템에 요구되는 구조는 청구범위의 요소로 나타날 것이다. 또한, 본 발명의 실시양태는 임의의 특정 프로그래밍 언어를 참조하여 설명되지 않는다. 본 명세서에서 설명된 바와 같이 다양한 프로그래밍 언어 및 방식들이 본 발명의 교시를 구현하기 위해 사용될 수 있다는 것을 이해할 것이다.

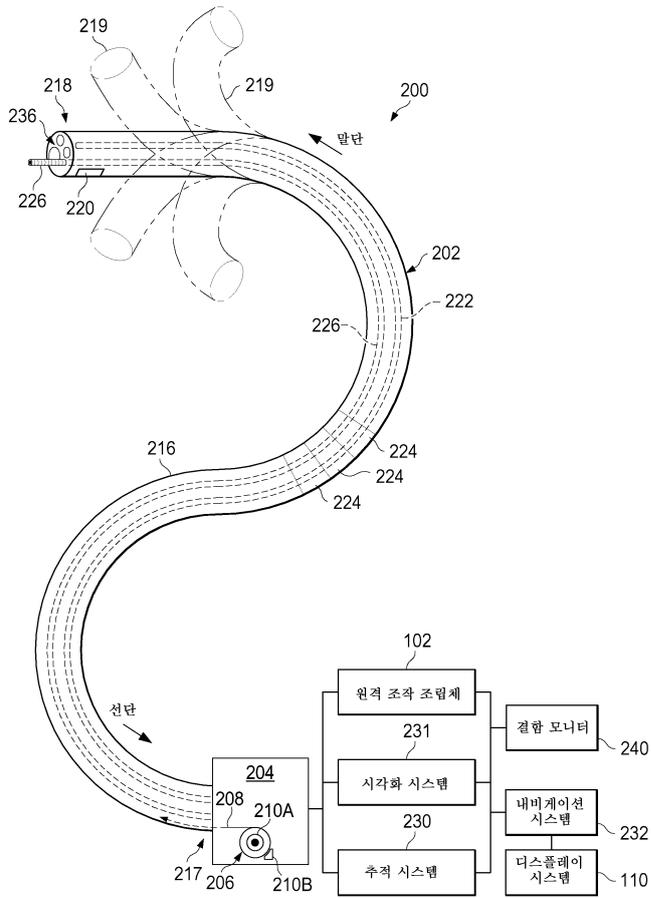
[0076] 본 발명의 특정 예시적 실시양태가 첨부된 도면에 설명되고 도시되었지만, 이러한 실시양태들은 단지 넓은 발명을 설명하는 것이고 제한하는 것은 아니며, 본 발명의 실시양태는 도시되고 설명된 특정 구조 및 배열로 제한되는 것은 아니며, 이는 다양한 다른 수정들이 본 기술분야의 통상의 기술자에 대해 발생할 수 있기 때문이다.

도면

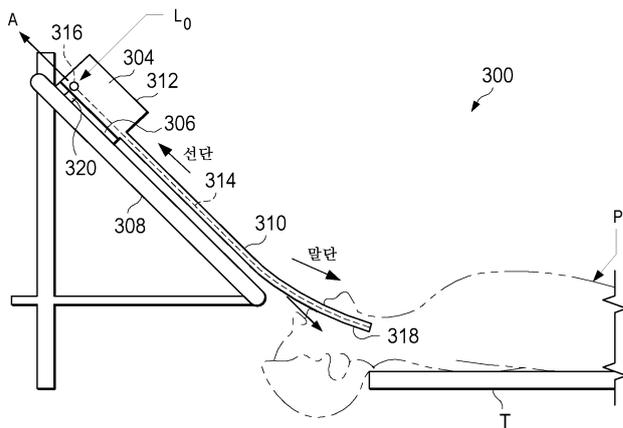
도면1



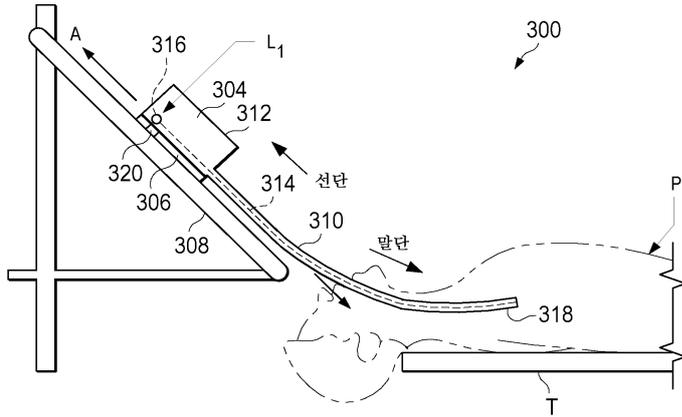
도면2



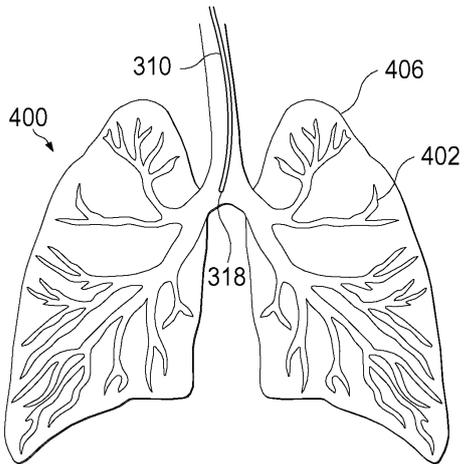
도면3a



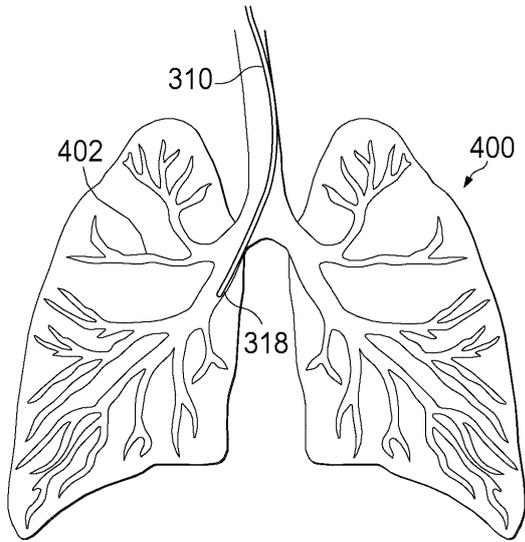
도면3b



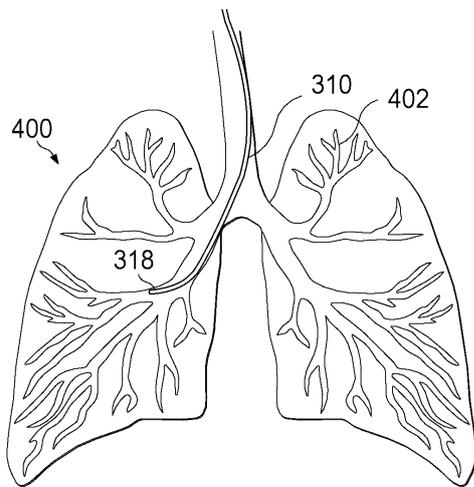
도면4a



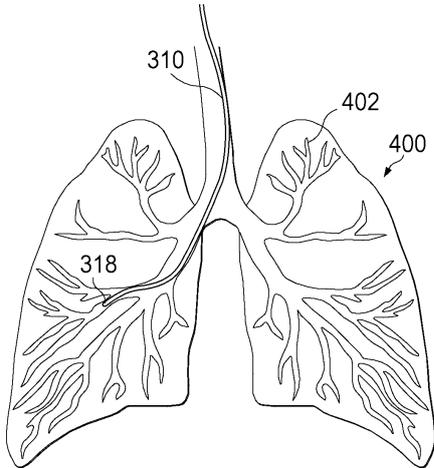
도면4b



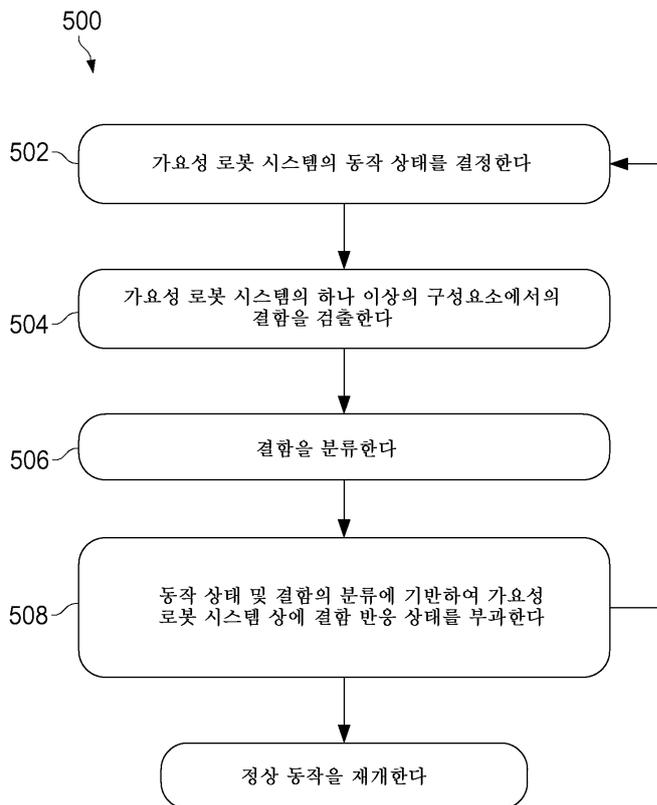
도면4c



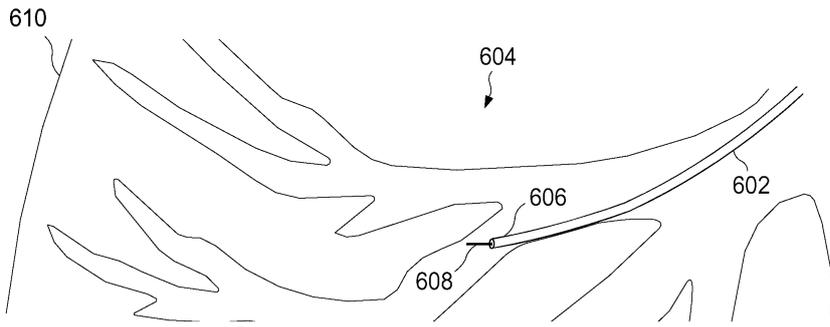
도면4d



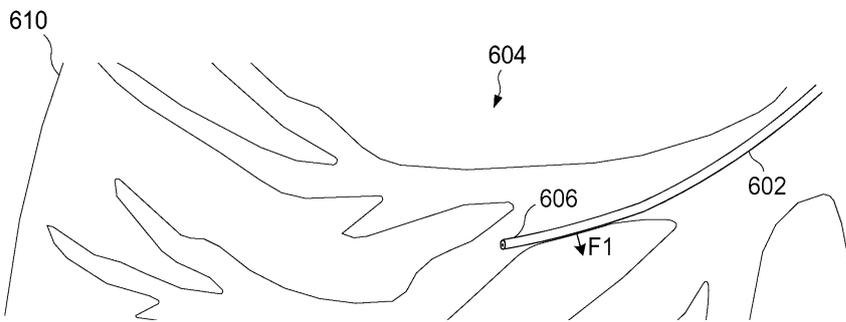
도면5



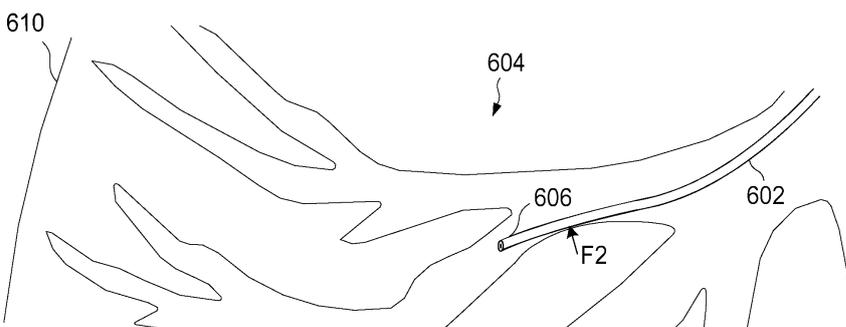
도면6a



도면6b



도면6c



도면7

