



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년04월22일

(11) 등록번호 10-1514467

(24) 등록일자 2015년04월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B25J 1/00 (2006.01) **B25J 13/08** (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-7003178

(22) 출원일자(국제) 2007년07월17일

심사청구일자 2012년06월13일

(85) 번역출제출일자 2009년02월17일

(65) 공개번호 10-2009-0040338

(43) 공개일자 2009년04월23일

(86) 국제출원번호 PCT/US2007/016336

(87) 국제공개번호 WO 2008/094191

국제공개일자 2008년08월07일

(30) 우선권주장

11/879,448 2007년07월16일 미국(US)

60/831,476 2006년07월17일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP08126984 A*

JP2006167223 A*

US20030223844 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

레이시언 사르코스, 엘엘씨

미국, 매사추세츠 02451, 윌턴, 윈터 스트리트 870

(72) 발명자

제이콥슨, 스테펜

미국, 유타 84102, 솔트 레이크 시티, 274 사우스 1200 이스트

올리버, 마르크

미국, 유타 84092, 샌디, 9638 사우스 2980 이스트

(74) 대리인

강명구, 김현석

전체 청구항 수 : 총 24 항

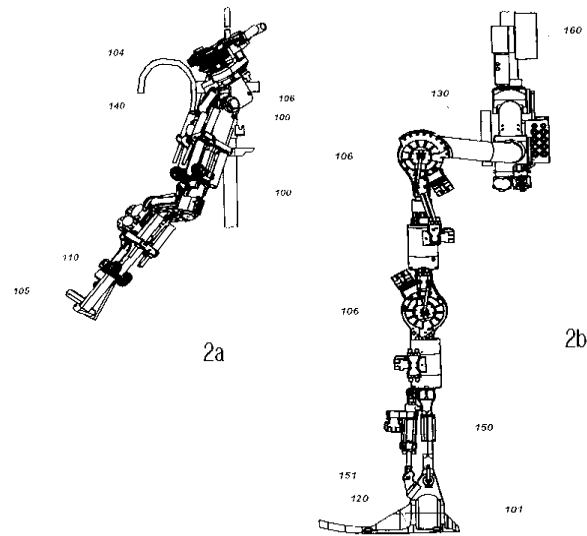
심사관 : 퇴-김상욱

(54) 발명의 명칭 **접촉식 변위 액츄에이터 시스템**

(57) 요약

인간 몸체(52)와 흡사하도록 형성되고 인간 몸체(52)의 적어도 일부분에 결합가능 하도록 구성되며 인간 몸체(52)의 운동을 모방하도록 구성된 로봇 프레임(100)으로 사용하기 위한 로봇 변위 장치가 제공된다. 이 로봇 변위 장치는 로봇 프레임(100)에 부착된 복수의 힘 센서(110, 120, 130, 140)들을 포함하는데, 상기 로봇 프레임은 인간 운영자(52)의 팔다리와 센서들 사이의 기준선 제어 인터페이스 힘 상태 관련성을 탐지한다. 로봇 프레임(100)에 대해 중력가속도의 힘과 방향 및 센서(110, 120, 130, 140)들로부터 나온 출력 힘 신호에 따라, 중앙 제어 유닛(160)은 제어 힘 상태 관련성을 유지하기에 필요한 적어도 회전력(240)을 계산한다. 그 뒤, 산정 시스템(160)은 작동 신호를 발생시키고, 그리고 제어 힘 상태 관련성을 유지하기 위하여 로봇 프레임(100)의 일부분을 변위시키는 로봇 프레임(100)에 부착된 구동 시스템(150)으로 상기 작동 신호를 전송한다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

인체의 형상을 가지고 인체와 결합되며 인체의 운동을 모방하도록 구성된 로봇 프레임(robotic frame)에 있어서,

상기 로봇 프레임은 로봇 변위 장치(robot displacement device)를 포함하고, 상기 로봇 변위 장치는

인체의 팔다리(extremity) 형상을 따라 상기 로봇 프레임(100)에 부착된 힘 센서(force sensor)(110,120,130,140)들을 포함하고, 상기 힘 센서들은 인체의 팔다리와 센서들 사이에서 조절가능한 제어 인터페이스 힘 상태 관련성(controlling interface force status relationship)을 감지하고 힘 신호를 출력하며, 상기 힘 센서들은 발과 강제 접촉 위치 관련성(forcefully-contacting positional relationship) 방식으로 접촉하고,

상기 로봇 프레임에 부착된 중앙 제어 유닛(160)을 포함하며, 상기 중앙 제어 유닛은 힘 센서들로부터 힘 신호를 수신하고 로봇 프레임의 조인트 위치를 감지하며 로봇 프레임의 위치에 대한 중력가속도의 방향과 중력가속도 힘을 산정하고 인체에 작용하는 로봇 프레임(100)의 힘을 계산하며 로봇 프레임에 의해 인체에 작용하는 계산된 힘에 대해 반대로 작용하고 인체의 팔다리와 로봇 프레임사이의 제어 인터페이스 힘 상태 관련성을 유지하기 위한 조인트 회전력을 계산하며 작동 신호(actuation signal)를 발생시키고 전송하며,

상기 로봇 프레임(100)에 부착된 구동 시스템을 포함하고, 상기 구동 시스템은 진행상태에 따라 상기 중앙 제어 유닛으로부터 전송된 작동 신호를 수신하고 제어 인터페이스 힘 상태 관련성을 유지하기 위해 로봇 프레임(100)에 의해 인체에 작용하는 힘에 대해 반대로 작용하도록 로봇 프레임의 조인트에 계산된 조인트 회전력을 작용하며,

상기 중앙 제어 유닛(160)은 작동하는 동안 동력과 이동성을 최적화하기 위해 로봇 변위 장치의 하중 지탱부분과 비하중 지탱부분 사이에서 하기 식의 슬라이딩 게인 스킴(sliding gain scheme)을 수행하고,

$$K_f(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW})f(s_i)$$

$j=f$ 또는 S 이고 힘-모멘트(F) 게인인 "센스-K"(S)를 의미하며, $I=R$ 또는 L (우측 또는 좌측 다리)이고, K_{HIGH} , K_{LOW} 는 상기 게인들에 대한 최대 한계값과 최소 한계값인 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 힘 센서들은, 인체의 팔다리와 접촉하는 로봇 프레임의 접촉 위치에서 비접촉 위치 관련성 방식으로 배열되는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 힘 센서들은, 인체의 발의 바닥 부분과 강제 접촉 위치 관련성 방식으로 배열되는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 힘 센서들은, 인체의 힙과 솔더에 접촉하는 로봇 프레임의 위치에 배열되고 축들에 대한 인체의 운동 방향들을 동시에 감지할 수 있는 힘 센서들을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 구동 시스템은 상기 로봇 프레임 상에 배열되고 로봇 프레임의 변위를 발생시키기 위해 동시에 작동할 수 있는 구동 메커니즘들을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 힘 센서들은 인간과 접촉하지 않고도(by non-human contact) 작동될 수 있는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 구동시스템은 내연기관에 의해 동력이 공급되는 구동 메커니즘을 포함하고, 상기 구동 메커니즘은

챔버를 포함하며, 상기 챔버는 피스톤, 유체를 챔버에 공급하기 위해 챔버에 결합된 유체 포트(fluid port)들 및 연통 포트(out-take port)를 가지고, 상기 피스톤과 상기 유체 포트는 상기 챔버에 가변 압력을 제공하도록 구성되며, 상기 피스톤과 상기 유체는 상기 챔버의 연소 부분에서 연소로부터 에너지를 공급하도록 연소를 촉진시키고,

상기 챔버 내에서 연소를 제어하기 위한 컨트롤러를 포함하며,

상기 챔버와 유체 소통되는(fluid communication) 반응 요소를 포함하고, 상기 반응 요소는 상기 챔버의 연소 부분에 위치되며, 상기 반응 요소는 상기 챔버 내에서 연소로부터 에너지의 일부를 끌어내도록 구성되는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 파워 서플라이로부터 모든 힘 센서들보다 더 작은 군들로 동력을 안내하도록 구성된 컨트롤 시스템을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 중앙 제어 유닛(160)은 커뮤니케이션 장치로부터 원격 신호들을 수신하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 10

인체에 부착하기 위한 운동식 외골격 구조(exoskeleton structure)에 있어서,

인체에 대해 반응하여 운동하는 외골격 구조를 포함하며,

인체와 센서들 사이에서 조절가능한 제어 인터페이스 힘 상태를 감지하기 위해 상기 외골격 구조에 부착된 센싱 수단(sensing means)을 포함하고, 상기 센서들은 인체의 팔다리와 강제 접촉 위치 관련성 방식으로 배열되며,

상기 외골격 구조에 부착된 중앙 제어 유닛을 포함하고, 상기 중앙 제어 유닛은 상기 외골격 구조의 조인트 위치를 감지하며 외골격 구조의 위치에 대한 중력 가속도의 방향과 힘을 계산하고 인체에 작용하는 외골격 구조의 힘을 계산하며 외골격 구조에 의해 인체에 작용하는 계산된 힘에 대해 반대로 작용하고 인체와 외골격 구조사이의 제어 인터페이스 힘 상태 관련성을 유지하기 위한 조인트 회전력을 계산하며,

상기 외골격 구조에 부착된 변위 시스템을 포함하고, 상기 변위시스템은 중력 가속도의 방향과 힘에 대한 제어 인터페이스 힘 상태를 유지하는 것에 따라 인체에 작용하는 외골격 구조의 힘에 대해 반대로 작용하기 위해 외골격 구조의 조인트에 계산된 조인트 회전력을 작용하여 인체의 공간운동을 모방하며,

상기 중앙 제어 유닛은 작동하는 동안 동력과 이동성을 최적화하기 위해 로봇 변위 장치의 하중 지탱부분과 비하중 지탱부분사이에서 하기 식의 슬라이딩 게인 스킴(sliding gain scheme)을 수행하고,

$$K_j(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW})f(s_i)$$

j=f 또는 S이고 힘-모멘트(F) 게인인 "센스-K"(S)를 의미하며, I=R 또는 L(우측 또는 좌측 다리)이고, K_{HIGH} , K_{LOW} 는 상기 게인들에 대한 최대 한계값과 최소 한계값인 것을 특징으로 하는 인체에 부착하기 위한 운동식 외골격 구조.

청구항 11

인체의 운동을 모방하기 위해 실시간으로 변위를 발생하도록 구성된 착용식 로봇 시스템(wearable robotic system)에 있어서,

인체의 형상을 가지고 인체와 결합되는 로봇 프레임(100)을 포함하며,

상기 로봇 프레임(100)에 부착된 선형 및 회전력 힘 센서들을 포함하고, 상기 힘 센서들은 인체의 팔다리와 힘 센서들 사이에서 조절가능한 제어 인터페이스 힘 상태 관련성의 변화를 감지하며, 상기 힘 센서들은 인체와 강제 접촉 위치 관련성 방식으로 배열되고,

상기 로봇 프레임(100)에 부착된 중앙 제어 유닛(160)을 포함하며, 상기 중앙 제어 유닛은 상기 로봇 프레임(100)의 조인트 위치를 감지하고, 로봇 프레임의 위치에 대한 중력가속도의 방향과 힘을 계산하며 인체에 작용하는 로봇 프레임의 계산된 힘에 대해 반대로 작용하며 인체의 팔다리와 로봇 프레임사이의 상기 조절가능한 제어 인터페이스 힘 상태 관련성을 유지하기 위한 조인트 회전력을 계산하며 작동 신호를 전송하고,

상기 로봇 프레임(100)에 부착된 액츄에이터를 포함하며, 상기 액츄에이터는 상기 중앙 제어 유닛(160)으로부터 작동신호를 수신하고 구동 메카니즘을 작동시키며, 상기 액츄에이터에 연결된 상기 구동 메카니즘은 인체에 대해 상기 로봇 프레임(100)의 일부분을 변위시키고 상기 조절가능한 제어 인터페이스 힘 상태 관련성이 회복될 때까지 인체에 작용하는 로봇 프레임의 힘에 대해 반대로 작용하기 위해 상기 로봇 프레임의 조인트에 대해 계산된 조인트 회전력을 가하며,

상기 중앙 제어 유닛은 작동하는 동안 동력과 이동성을 최적화하기 위해 로봇 변위 장치의 하중 지탱부분과 비하중 지탱부분사이에서 하기 식의 슬라이딩 게인 스킴(sliding gain scheme)을 수행하고,

$$K_j(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW})f(s_i)$$

j=f 또는 S이고 힘-모멘트(F) 게인인 "센스-K"(S)를 의미하며, I=R 또는 L(우측 또는 좌측 다리)이고, K_{HIGH} , K_{LOW} 는 상기 게인들에 대한 최대 한계값과 최소 한계값인 것을 특징으로 하는 착용식 로봇 시스템.

청구항 12

인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임(100)을 동시에 움직이기 위한 방법에 있어서,

인체의 팔다리에 접촉하는 로봇 프레임(100)상의 접촉 위치 및 상기 로봇 프레임상에 배열된 힘 센서(110, 120, 130, 140)들사이에서 제어 인터페이스 힘 상태 관련성을 감지하는 단계를 포함하고, 상기 힘 센서들은 팔다리와 강제 접촉 위치 관련성 방식으로 배열되며,

상기 로봇 프레임의 조인트 위치를 감지하는 단계를 포함하고,

상기 착용식 로봇 프레임(100)에 대해 중력가속도 힘의 방향을 감지하는 단계를 포함하며,

상기 힘 센서들에 대해 인체의 일부분을 변위시키는 단계를 포함하고,

상기 제어 인터페이스 힘 상태 관련성의 상태 변화를 감지하는 단계를 포함하며,

상기 제어 인터페이스 힘 상태 관련성의 상태 변화에 반응하여 조인트 회전력의 신호를 발생시키는 단계를 포함하고, 상기 조인트 회전력의 신호는 인체에 작용하는 로봇 프레임의 힘을 상쇄시키며,

착용식 로봇 프레임에 결합된 액츄에이터 시스템으로 상기 조인트 회전력의 신호를 전송하는 단계를 포함하고,

상기 제어 인터페이스 힘 상태 관련성이 회복될 때까지 인체에 작용하는 로봇 프레임의 힘에 대해 반대로 작용하기 위해 상기 조인트 회전력의 신호에 반응하여 로봇 프레임에 결합된 변위 장치를 작동시키는 단계를 포함하며,

작동하는 동안 동력과 이동성을 최적화하기 위해 로봇 변위 장치의 하중 지탱부분과 비하중 지탱부분사이에서 하기 식의 슬라이딩 게인 스킴(sliding gain scheme)을 수행하는 단계를 추가로 포함하고,

$$K_j(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW})f(s_i)$$

j=f 또는 S이고 힘-모멘트(F) 게인인 "센스-K"(S)를 의미하며, I=R 또는 L(우측 또는 좌측 다리)이고, K_{HIGH} ,

K_{LOW} 는 상기 계인들에 대한 최대 한계값과 최소 한계값인 것을 특징으로 하는 인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임을 동시에 움직이기 위한 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 상기 힘 센서들은, 인체의 힙과 슬더에 접촉하는 로봇 프레임의 위치에 배열되는 것을 특징으로 하는 인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임을 동시에 움직이기 위한 방법.

청구항 14

제 12 항에 있어서, 상기 제어 인터페이스 힘 상태 관련성은 인체 상에서 접촉 위치 및 조절가능한 근접 센서(proximity sensor) 사이의 거리에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임을 동시에 움직이기 위한 방법.

청구항 15

제 12 항에 있어서, 상기 힘 센서들은 축들에 대한 인체 팔다리의 운동방향을 감지하기 위해 동시에 작동할 수 있는 것을 특징으로 하는 인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임을 동시에 움직이기 위한 방법.

청구항 16

제 12 항에 있어서, 상기 변위 장치는 축들에 대해 로봇 프레임의 운동 방향들로 로봇 프레임의 변위를 발생시키기 위해 동시에 작동되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임을 동시에 움직이기 위한 방법.

청구항 17

제 12 항에 있어서, 상기 변위 장치는 동력 변환 장치에 의해 동력이 공급되는 것을 특징으로 하는 인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임을 동시에 움직이기 위한 방법.

청구항 18

제 12 항에 있어서, 제어 인터페이스 힘 상태 관련성의 변화에 대한 상기 힘 센서들의 감도는 조절가능한 것을 특징으로 하는, 인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임을 동시에 움직이기 위한 방법.

청구항 19

인체의 운동과 일치하여 착용식 인간 외골격을 움직일 수 있게 하기 위한 방법에 있어서,

인간 외골격을 착용하는 단계를 포함하며,

인체의 팔다리에 접촉하는 인간 외골격 상의 접촉위치 및 상기 인간 외골격과 연결된 힘 센서(110, 120, 130, 140)들사이의 힘 상태를 감지하는 단계를 포함하고, 상기 힘 센서는 팔다리와 강제 접촉 위치 관련성 방식으로 배열되며,

상기 인간 외골격의 조인트 위치를 감지하는 단계를 포함하고,

상기 외골격의 일부분에 대해 중력가속도의 방향을 계산하는 단계를 포함하며,

외골격 인간-힘 반응값(exoskeleton human-force response value)을 수동으로 조절하는 단계를 포함하고,

상기 힘 센서들에 대해 인체의 일부분을 변위시키는 단계를 포함하며,

힘 상태의 변화를 형성하고 인체에 작용하는 상기 인간 외골격의 힘을 감지하는 단계를 포함하고,

외골격의 움직이지 않는 하중 지탱 부분(non-moving load bearing portion)을 고정시키는 단계를 포함하며,

외골격의 움직이는 비 하중 지탱 부분을 고정해제하는 단계를 포함하고,

중력가속도 힘을 포함하여 인체에 작용하는 인간 외골격의 힘을 상쇄하고 힘 상태를 회복하기 위한 인간 외골격의 고정해제된 비 하중 지탱 부분의 조인트 회전력을 계산하는 단계를 포함하며,

인체에 가해진 외골격의 힘이 0이 되기 위해 필요한 외골격의 고정된 하중 지탱 부분의 조인트 회전력을 계산하

는 단계를 포함하고,

상기 계산된 조인트 회전력의 신호를 발생시키는 단계를 포함하며,

상기 외골격에 결합된 액츄에이터 시스템에 상기 신호를 전송하는 단계를 포함하고,

상기 계산된 조인트 회전력에서 외골격의 고정해제된 비 하중 지탱 부분을 변위시키기 위하여 상기 신호에 반응하여 외골격에 결합된 변위 장치를 작동시키는 단계를 포함하며,

외골격의 고정된 하중 지탱 부분에 상기 계산된 조인트 회전력을 유지시키기 위해 상기 신호에 반응하여 외골격에 결합된 상기 변위 장치를 작동시키는 단계를 포함하고,

인체의 운동을 모방하기 위하여 상기 단계들을 반복하는 단계를 포함하는, 인체의 운동과 일치하여 착용식 인간 외골격을 움직일 수 있게 하기 위한 방법.

청구항 20

제 1 항에 있어서, 상기 중앙 제어 유닛(160)은 로봇 프레임의 속도를 감지하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 로봇 프레임.

청구항 21

제 10 항에 있어서, 상기 중앙 제어 유닛은 외골격 구조의 속도를 감지하는 것을 특징으로 하는 인체에 부착하기 위한 운동식 외골격 구조.

청구항 22

제 11 항에 있어서, 상기 중앙 제어 유닛은 외골격 구조의 속도를 감지하는 것을 특징으로 하는 착용식 로봇 시스템.

청구항 23

제 12 항에 있어서, 상기 로봇 프레임의 속도를 감지하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 인체의 운동과 일치하여 착용식 로봇 프레임을 동시에 움직이기 위한 방법.

청구항 24

제 19 항에 있어서, 상기 착용식 인간 외골격의 속도를 감지하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 인체의 운동과 일치하여 착용식 인간 외골격을 움직일 수 있게 하기 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2006년 7월 17일에 출원된 미국 가특허출원 60/831,476호와 2007년 7월 16일에 출원된 미국출원을 우선권주장하며, 이 둘은 본 출원의 참조문헌으로서 통합된다.

[0002] 본 발명은 일반적으로 착용식 로봇 변위 시스템(wearable robotic displacement system)에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 로봇 프레임과 상기 로봇 프레임으로 사용자에게 의해 제공된 힘에 비례하여 기계적으로 변위되는 액츄에이터 시스템(actuator system)에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 인간 몸체의 형상과 흡사하고 사전형성된 운영자의 궤적 운동(trjectory movement)에 따르지 않고도 인간 운영자에 의하여 직접적인 접촉을 통해 실시간으로 그리고 동시에 외골격 프레임의 다수의 팔다리를 변위시키는 인간 운동을 모방할 수 있도록 하는 착용식 외골격 로봇 변위 시스템(wearable exoskeleton robot displacement system)을 개발하는 것이 유리하다고 인식되어 왔다.

- [0004] 인간과 로봇 기계를 한 시스템에 통합하는 것은 생체의학, 산업, 군수 및 항공 분야들에 사용될 수 있는 신세대 보조 기술을 창출하기 위한 가능성을 제공한다. 인간의 구성요소는 고도의 의사 결정 및 센싱 메커니즘을 수행하는 자연스럽고 상당히 발전된 제어 알고리즘을 제공하는 반면, 로봇 구성요소는 동력, 정확성 및 속도와 같은 기술적인 우월성을 제공한다.
- [0005] 인간 운영자보다는 동력원에 의해 구동되는 외골격(exoskeleton)은 인간이 운영자의 목표를 위해 제어를 유지하는 동안 인간의 근육 강도를 증폭시키는 로봇 매니퓰레이터(robot manipulator)의 군이다. 외골격의 관절 시스템(joint system)은 인간 신체의 관절 시스템과 흡사해야 하며 특정 타입의 인간/외골격 인터페이스를 통해 인간 운영자의 힘의 방향과 크기 모두에 이상적으로 반응하여야 한다.
- [0006] 자동화된(motorized) 외골격을 만들기 위한 실질적인 노력은 1960년대로 거슬러 올라가는데, 외골격 디자인에 대한 연구는 이보다 훨씬 앞서 시작되었다. 디자인에 있어 예전의 연구에 대한 결과로서, 유압과 전기에 의해 구동되는 자립형(self-standing) 외골격들이 커다란 몸집의 고안물(hulking contraption)로서 구동되었다. 자동차들과 같이 무거운 로봇들은 이른바 인간들로 하여금 냉장고를 마치 감자 상자인 것처럼 들어 올릴 수 있게 만들었을 것이다. 하지만 다수의 팔다리(limb)를 한 번에 작동시키도록 하는 시도는 과격하고 제어 불가능한 운동을 야기할 수 있다. 그 이후, 대부분의 개발은 완전한 시스템보다는 외골격의 구성요소들에 초점을 맞추었다.
- [0007] 로봇 외골격 연구 노력의 일부분은 시스템에 대해 일차 명령 신호로서 근전도 신호(electromyography signal)를 사용하여 신경근 레벨(neuromuscular level)에서 바이오포트(bioport)를 통과하는 인간/외골격 인터페이스를 개발하는 것에 초점을 맞춰왔다. 이러한 시스템들은 뇌로부터 근육에 전달되는 신호들을 모니터링하기 위해 다리의 피부에 부착된 생체전기 센서들을 사용한다. 사람이 일어서거나 또는 보행할 때, 뇌로부터 근육들로 전달되는 신경 신호는 피부 표면에서 감지할 수 있는 전류를 발생시킨다. 이 전류들은 센서에 의해 포착되고(picked up) 신경 신호들을 외골격의 힙과 무릎에서 전기 모터를 제어하는 신호들로 변환하는 컴퓨터로 전송된다. 하지만 인간 운영자가 땀을 흘리고, 뛰며, 점프하고 및/또는 드러눕는 극한의 조건 하에서 작동될 때, 생체전기 센서의 정확성이 현저히 감소될 수 있다.
- [0008] 추가적인 연구 노력들은 인간/외골격 인터페이스에서 인간 운영자에 의해 직접적으로 접촉하는 개념을 사용하여 외골격 제어에 초점을 맞춰왔다. 이 개념을 실행하기 위한 다수의 해결노력은 동력학적 운동방정식을 유도하고 그의 해를 찾는 것에 따른 궤적 추적 방법(trjectory tracking method)들을 사용하였다. 상기 운동방정식에 대한 해는 인간 운영자의 운동을 반영하도록 요구되는 바람직한 외골격의 궤적을 결정하도록 사용된다. 종종 적응형 소자(adaptive element)를 사용하는 하이 게인 포지션 컨트롤러(high gain position controller)는 운영자의 사전결정된 궤적을 따르도록 사용된다. 이 궤적 추적 방법들은 2가지 중요한 결점들을 가진다. 첫 번째 결점은 상기 방법들이 계산하기 복잡하다는 것이다. 두 번째로, 이 방법은 환경의 장애 또는 변화들에 대해 적절하지 않다. 외골격이 물체와 혹은 환경 또는 하중 변화들과 접촉한다면, 동력학과 궤적은 다시 계산되어야 하며 그렇지 않을 경우에는 쓰러질 것이다.

발명의 상세한 설명

- [0009] 본 발명은 인간 몸체와 흡사하게 형성되고 인간 몸체의 적어도 일부분에 결합가능 하며 인간 몸체의 운동을 모방하도록 형성된 로봇 프레임으로 사용하기 위한 로봇 변위 장치(robot displacement device)를 제공한다. 상기 로봇 프레임은 본 명세서에서 외골격(exoskeleton)으로도 언급된다. 운동을 구현하기 위하여, 로봇 변위 장치는 프레임의 핸드와 풋 근처의 로봇 프레임에 부착된 복수의 선형 및 회전 힘 센서(force sensor)들을 포함한다. 이 센서들은 인간 운영자의 팔다리와 센서들 사이의 기준선 제어 인터페이스 힘 상태 관련성(baseline controlling interface force status relationship)을 탐지하는데, 이 기준선 제어 인터페이스 힘 상태 관련성은 변위된 비-접촉 관련성뿐만 아니라 접촉 관련성도 포함한다. 그 뒤, 센서들은 로봇 프레임 내에 통합된 중앙 제어 유닛으로 힘 신호를 출력한다. 로봇 프레임에 대한 중력가속도의 힘과 방향 및 센서들로부터 나온 출력 힘 신호에 따라, 중앙 제어 유닛은 제어 힘 상태 관련성을 유지시키기 위해 필요한 선형 및 회전력을 계산한다. 그 후, 중앙 제어 유닛은 작동 신호를 발생시키고 로봇 프레임에 부착된 구동 시스템(drive system)으로 상기 작동 신호를 전송한다. 그 뒤 구동 시스템은 제어 힘 상태 관련성을 유지시키기 위하여 로봇 프레임의 일부분을 변위시킨다. 대안으로, 어떠한 변위도 필요 없지만 로봇 프레임 상의 하중이 변화하는 경우에는, 구동 시스템은 제어 힘 상태 관련성을 유지시키기 위해 필요할 때처럼 로봇 프레임 상의 선형 및 회전력들을 증가시킨다.

실시예

- [0020] 이제 도면들에 예시된 실례의 실시예들을 언급할 것이며 상기 실례의 실시예들을 기술하기 위하여 본 명세서에는 구체적인 용어가 사용될 것이다. 하지만 본 발명의 범위를 국한하려는 의도가 아님을 이해하여야 할 것이다. 본 명세서에서 예시된 본 발명의 특징들의 대안예들과 추가적인 변형에 및 본 개시물을 소유하고 종래 기술의 당업자에 의해 본 발명의 원리들을 추가적으로 적용하는 것은 본 발명의 범위 내에 있음을 이해할 수 있다.
- [0021] 본 발명은 일반적으로 착용식 로봇 변위 시스템(wearable robotic displacement system)에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 로봇 프레임과 상기 로봇 프레임으로 사용자에 의해 제공된 힘에 비례하여 기계적으로 변위되는 액추에이터 시스템에 관한 것이다.
- [0022] 도 1a-2b에서, 외골격 프레임(exoskeleton frame, 100)이 인체의 운동을 모방하도록 형성되고 인체의 적어도 일 부분에 결합가능하고 그것에 거의 흡사하도록 형성된다. 운동을 구현하기 위하여, 상기 장치는 핸드(110)와 풋(120) 근처의 로봇 프레임(100)에 부착된 복수의 힘 센서(force sensor)들을 포함하는데, 이 로봇 프레임은 중앙 제어 유닛(160)과 구동 시스템(drive system, 150)에 작동가능하게 결합된다. 힘 센서들은 로봇 프레임(100)에 작용하는 선형 또는 회전력들을 감지할 수 있다. 본 발명의 한 형태에서, 힘 센서들의 감응성은 조절가능하다. 예를 들어 힘 센서들은 오직 사전결정된 수준을 초과하는 힘이 힘 센서에 가해질 때만 반응하도록 형성될 수 있다.
- [0023] 본 명세서에 사용된 바와 같이, "인터페이스 힘 상태 관련성(interface force status relationship, IFSR)"은 인체에 가까운 외골격 구성요소의 선호적인 위치 관련성에 관한 것이다. 본 발명의 한 실시예에서, 예를 들어, 움직이지 않을 때 착용자의 손목은 외골격 팔뚝/손목의 상응하는 부분과 강하게 접촉하지 않을 수 있다. 이 경우 사용자는, 운동이 요구될 때 즉 팔을 올리거나 또는 팔을 측면으로 밀 때 외골격에 힘을 가할 필요가 있다. 이 운동으로 인해 IFSR의 비-접촉 상태가 사용자의 손목과 외골격 사이의 물리적인 접촉 중 하나로 변경된다. 외골격은 이 접촉을 적절한 운동에 의해 "치우도록(get out of the way)" 반응할 것이다. 이 반응은 손목/팔뚝의 운동이 완료될 때까지 순차적으로 여러 번 반복될 수 있다. 여기서 힘 상태 관련성(force status relationship)은 다시 비-접촉 위치에서 안정되고 운동은 중지된다.
- [0024] 또 다른 실시예에서, 사용자의 풋은 센서 위에 설 수 있으며 이에 따라 힘이 가해진다. 상기 IFSR은 풋과 센서 사이의 실질적인 접촉에 따른다. 사용자가 풋을 들어 올릴 때, 비-접촉 관련성이 발생된다. 그 뒤, 외골격은 풋과 그에 관련된 외골격 구성요소 사이에 제공된 접촉을 회복(reinstate)시키려는 노력에 반응할 것이다. 따라서, 이 경우, IFSR은 사용자의 풋이 외골격과 강하게 접촉되는 접촉 관련성이다.
- [0025] 센서들은 인간 운영자의 팔다리와 센서 사이의 기저선 제어 인터페이스 힘 상태 관련성(baseline controlling interface force status relationship)을 감지할 수 있다. 그 뒤, 센서들은 로봇 프레임(100) 내에 통합된 중앙 제어 유닛(160)으로 힘 신호(force signal)를 출력한다(output). 로봇 프레임(100)에 대한 중력의 방향과 힘 그리고 센서들로부터의 출력 힘 신호에 따라, 중앙 제어 유닛(160)은 힘 상태 관련성이 접촉 관련성인지 또는 비-접촉 관련성인지 제어 힘 상태 관련성을 유지하기에 필요한 선형 및 회전력을 계산한다. 그 뒤, 이 시스템은 작동 신호(actuation signal)를 발생시키고 로봇 프레임(100)에 부착된 구동 시스템(150)으로 상기 작동 신호를 전송한다. 그 뒤 구동 시스템(150)은 제어 힘 상태 관련성을 유지하기 위하여 로봇 프레임(100)의 일부분을 변위시킨다(displace). 대안으로, 어떠한 변위도 필요하지 않지만 로봇 프레임(100) 상의 하중(load)이 변화되는 곳에서, 구동 시스템(150)은 운동이 완료될 때까지 제어 힘 상태 관련성을 유지하기 위하여 로봇 프레임(100) 상에서 선형 및 회전력들을 증가시키거나 또는 감소시킨다.
- [0026] 보다 일반적으로, 본 발명으로 인해, 착용자는 통상적으로 불가능한 활동들 또는 불가능하지는 않지만 상당한 시간과 에너지를 소비해야만 하는 활동들을 수행할 수 있다. 군사 요원, 건설 노동자, 경찰, 의료 요원 및 인체의 형태를 교정하거나 또는 인체의 기능을 지원하기 위한 그 외의 다른 사람들이 이 시스템을 착용할 수 있다. 착용식 프레임은 위험하고 치명적인 작업에 필요한 인원수를 감소시킬 수 있으며 이러한 작업들을 수행할 때 인부가 경험하는 육체적인 스트레스를 감소시킬 수 있다. 또한 착용식 프레임은 방사선, 가스, 화학적 또는 생물학적 제제에 노출되는 것을 포함하는 특정 작업 분야들에 사용될 수 있다. 또한 상기 착용식 프레임은 그 외의 다른 경우에서 앉거나 서거나 또는 이동하는 것과 같은 작업들을 수행하기에 불가능한 육체적으로 손상된 사람들에게 도움을 주는데 사용될 수도 있다. 변위 장치(displacement device)는 소규모 운동과 힘들을 제어된 대규모 운동과 힘들로 증폭시키는 동력 증폭기(power amplifier)로서 사용될 수 있다. 센서들과 제어 장치들을 프레임의 다양한 위치들에 전략적으로 배치함으로써, 사용자는 오직 매우 소량의 힘만을 사용하여도 프레임의 운동을

제어할 수 있다. 추가적으로, 육체적으로 손상된 사람들도 동력원에 구속되지 않고 자유로이 운동할 수 있다. 동력 단속기(power interrupt)와 같은 안전장치들은 의도되지 않은 프레임의 운동과 프레임을 착용하는 사용자에게 대한 피해를 방지하기 위하여 시스템에 내장될 수 있다. 본 발명의 실례의 실시예들에 대한 주된 내용은 미국특허번호 6,957,631호와 7,066,116호 및 미국특허출원번호 11/292,908호, 11/293,413호, 60/904,245호, 60/904,246호 및 11/293,726호에서 찾아볼 수 있는데, 이들 각각의 특허 및/또는 특허출원은 참조문헌들로서 본 명세서에 통합된다.

[0027]

보다 상세한 본 발명의 한 형태에 따르면, 도 1a-2b는 로봇 프레임(100)에 부착되고 핸드(110)와 풋(120)에 인접한 인간 운영자에 근접하게 배치되거나 또는 상기 핸드와 풋에 접촉하는 복수의 센서들을 사용하는 로봇 변위 장치(robot displacement device)를 포함하는 시스템을 예시한다. 또 다른 형태에서, 센서들은 힙(130)과 솔더(140)에 인접한 인간 운영자에 근접하게 배치되거나 또는 인간 운영자와 접촉한다. 센서(110, 120, 130, 140)들은 다수의 축들에 대해 인간 운영자의 다수의 운동 방향들을 동시에 감지할 수 있다. 도 3 내지 도 8에서 전체적으로, 본 발명의 한 실례의 실시예에서, 인간 운영자는 로봇 프레임(100)의 풋 부분(101) 내에 자기의 풋을 위치시킴으로써 로봇 변위 장치에 들어갈 수 있는데 여기서 운영자의 풋은 상응하는 힘 센서(120)와 접촉한다. 인간 운영자의 부분들은 또한 로봇 프레임(100)의 다양한 위치들에 배열된 힘 센서들과 접촉한다. 예를 들어, 도 6은 로봇 프레임의 힙 부분(102)과 이에 상응하는 힘 센서(130)를 도시한다. 운영자(52)는 허리 스트랩(103) 또는 그 외의 다른 적절한 결합 장치에 의해 프레임(100)에 결합될 수 있다. 도 7에 도시된 바에 따르면, 운영자(52)는 솔더 스트랩(104)에 의해 로봇 프레임(100)에 추가적으로 결합된다. 한 형태에서, 힘 센서(140)는 운영자의 솔더 영역에 근접한 로봇 프레임(100)에 부착된다. 추가적으로, 도 8에 예시된 바와 같이, 운영자의 핸드(53)는 로봇 프레임(100)에 결합된 핸들(105)을 움켜쥔다. 힘 센서(110)는 핸들(105)과 로봇 프레임(100) 사이에 배치된다. 본 명세서에서는 로봇 프레임(100) 상의 특정 위치들에 배치된 힘 센서들에 대해 언급하고 있지만, 로봇 변위 장치의 적절한 작동을 용이하게 하기 위하여 로봇 프레임(100)의 다수의 위치들에 힘 센서들이 전략적으로 배치될 수 있다.

[0028]

본 발명의 한 형태에서, 시스템 상의 운영자 힘의 측정에 수반하여, 중앙 제어 유닛(160)은 로봇 프레임의 현재 결합 위치와 속도와 함께 상기 프레임의 위치에 대해 중력가속도와 중력가속도의 방향을 감지할 수 있다. 그 뒤, 운영자의 운동에 반응하여 외골격의 목표 결합 위치와 속도값들이 계산된다. 그 후, 로봇 프레임(100) 상의 다수의 위치들에 배치된 다수의 구동 메커니즘들을 포함할 수 있는 본 장치의 구동 시스템(150)은 로봇 프레임(100)을 변위시키기 위하여 운영자의 운동에 일치하여 작동된다. 한 실례의 실시예에서, 구동 메커니즘들은 로봇 프레임(100)의 조인트(joint, 106)들에 근접하게 배치될 수 있으며 원하는 바대로 변위시키기 위하여 로봇 프레임(100)의 한 부재 상에 선형 또는 회전력을 발생하도록 형성될 수 있다. 운영자의 운동에 따라, 외골격 프레임(100)은 복수의 방향들로 그리고 복수의 축들에 대해 변위될 수 있다. 중앙 제어 유닛(160)은 또한 연료 저장 장치, 동력 발생 센터 및/또는 신호 발생/처리 센터로서의 기능을 수행할 수 있다. 외골격의 실질적인 운동은 로봇 프레임(100)의 변위를 시작하기 위하여 제어 밸브들을 통해 유압유들을 전달함으로써 구현될 수 있다. 본 명세서에서는 유압유 액츄에이터 시스템들에 대해 설명되지만, 외골격 부분들을 움직일 수 있는 임의의 액츄에이터 시스템도 본 명세서에서 사용을 고려할 수 있다.

[0029]

부가적인 실시예에서, 중앙 제어 유닛(160)은 인간 운영자에게 가해지는 외골격 구조의 힘과 로봇 프레임(100)에 의해 인간 운영자에게 가해지는 계산된 힘에 대해 반대로 작용하기에(counteract) 필요한 구동 시스템(150)의 조인트 회전력(joint rotational force)을 계산할 수 있다. 그 후, 구동 시스템(150)은 로봇 구조(100)에 의해 인간 운영자에게 가해진 힘에 대해 반대로 작용하기 위해 로봇 프레임(100)의 결합 구성요소에 계산된 회전력을 가한다. 예를 들어, 로봇 프레임(100)의 운영자는 로봇 프레임(100)의 후방에 배치된 하중(load)을 가질 수 있다. 이 하중으로 인해 로봇 프레임(100)에 모멘트 힘이 발생할 수 있어서 그 외의 경우 로봇 프레임(100)과 인간 운영자가 하부로 및/또는 후방으로 끌어당겨질 수 있다. 본 발명의 한 실시예에서, 중앙 제어 유닛(160)은 로봇 프레임(100)을 직립 위치로 유지시키기 위하여 로봇 프레임(100)에 외부적으로 가해진 힘들에 대해 반대로 작용하도록 형성된다. 하지만 중앙 제어 유닛(160)은 로봇 프레임(100)을 임의의 위치로(예컨대 엎드린, 웅크린 및/또는 앉은 위치) 유지하도록 형성될 수 있다.

[0030]

본 발명의 한 형태에서, 로봇 변위 장치의 중앙 제어 유닛(160)은 모든 힘 센서들보다 작은 군들로부터 또는 이 군들로 동력을 안내하도록 형성될 수 있다. 이에 따라 본 장치는 착용자가 원하는 작동 모드를 최적화하기 위하여 로봇 프레임(100)의 특정 부분들을 실질적으로 "셋 다운"시킬 수 있다. 본 발명의 또 다른 형태에서, 추가적으로, 중앙 제어 유닛(160)은 원격 관측자로부터 작동 모드에 있어서 자동 변환을 촉진하기 위하여 커뮤니케이션 장치로부터 원격 신호들을 수신하도록 형성된다. 예를 들어, 원격 관측자는 로봇 변위 장치가 평평하게 배열

되거나(lay flat) 또는 스스로 작동되어(즉 힘 센서들로부터 임의의 명령 신호들을 무시하는(over-ride)) 이에 따라 원격 관측자에 의해 지시된 위치 또는 사전결정된 위치로 움직이도록 명령하는 제어 신호를 중앙 제어 유닛(160)으로 전송할 수 있다.

[0031] 도 1a-2b에서 일반적으로, 본 발명의 한 실시예에서, 로봇 프레임(100)의 운동은 다른 것들 중에서 유압 라인과 유압 밸브를 가진 로봇 프레임의 조인트(106)에 근접하게 배치된 구동 시스템(150)에 의해 구현된다. 구동 시스템(150) 내의 실린더(도시되지 않음)는 로봇 프레임의 상대적인 위치를 조절하도록 연장되거나 또는 철회될 수 있다. 유압유 라인과 구동 메커니즘은 내연기관 또는 그 외의 다른 동력 변환 장치(power conversion device)에 의해 압축되거나 또는 구동될 수 있다. 상기 동력 변환 장치의 한 실례는 일차 피스톤(primary piston)을 가진 챔버, 반응 요소 및 상기 챔버에 작동가능하게 상호 연결된 컨트롤러를 가진 엔진을 포함한다. 챔버는 또한 유체를 챔버에 공급하기 위하여 하나 이상의 유체 포트(fluid port)와 연통 포트(out-take port)를 포함할 수 있다. 유체 포트와 조합되는 일차 피스톤은 챔버에 가변 압력을 공급하고 챔버의 연소 부분에 에너지를 발생시키기 위하여 연소를 적어도 부분적으로 촉진시키도록 형성될 수 있다. 일차 피스톤은 챔버 내에서 왕복운동 하도록 형성될 수 있다. 컨트롤러는 챔버 내의 연소를 제어하도록 형성될 수 있다. 상기 반응 요소는 챔버와 유체 연결될 수 있으며(fluid communication) 이에 따라 상기 반응 요소는 챔버의 연소 부분에 근접하게 위치된다. 시스템은 구동 시스템(150)과 동력 변환 장치(180)가 로봇 프레임(100)의 각각의 조인트에 위치되고 중앙 제어 유닛(130)으로부터 나온 신호들에 의해 제어되도록 형성될 수 있다. 또한 동력 단속기와 같은 안전장치들은 로봇 프레임을 착용하는 사람의 안전을 보호하기 위해 포함될 수 있다.

[0032] 도 9에 전체적으로 도시된 또 다른 실례의 실시예에서, 로봇 프레임을 제어하고 로봇 프레임의 운영자에 의해 로봇 프레임 자체에 제공된 힘의 상호작용을 최소화시키기 위한 중앙 제어 유닛을 예시하는 블록 다이어그램이 도시된다. 상기 중앙 제어 유닛에 의해 사용되는 측정된 입력 변수들은 하기 사항들을 포함할 수 있다.

- [0033] 1. 로봇 조인트 각도 벡터: Θ 200
- [0034] 2. 로봇 조인트 속도 벡터: $\dot{\Theta}$ 210
- [0035] 3. 측정된 조인트 토크 벡터: τ 220
- [0036] 4. 중력가속도 벡터: g 230(통상 외골격에 부착된 어떤 기준 프레임(frame of reference)에서 예를 들어 골반에 부착된 관성 측정 유닛을 사용하여 측정됨)
- [0037] 5. 힘 및 모멘트(F-벡터 240으로 언급됨): 운영자와 외골격 사이의 상호작용의 결과로 야기된다. 힘과 모멘트 벡터 F의 상호작용은 예컨대 다음과 같은 위치들에서 측정된다.

- [0038] (i)운영자의 발과 외골격 사이에서, 운영자에 부착된 골반 하네스 사이에서,
- [0039] (ii)운영자에 부착된 골반 하네스와 외골격의 골반 사이에서,
- [0040] (iii)운영자에 부착된 숄더 하네스와 외골격 척추 구조 사이에서,
- [0041] (iv)핸드 및/또는 운영자의 손목 및 외골격 팔 사이에서,
- [0042] (v)그 외의 다른 위치들에서도 가능하다.

[0043] 한 실시예에서, 발 센서에 따른 제어(foot sensor-based control)를 위해, 중력가속도 상쇄를 포함하는 제어 법칙은 목표로 하는 결과를 발생시키는 목표 토크 명령(τ_d 220)들을 산정하도록 사용된다. 보다 구체적으로, 목표로 하는 결과는 시스템에 의해 이송되는 페이로드(payload)의 중량(지면에 서 있으면서 자신의 발로 지지되어야 하는 운영자 자신의 중량의 구성요소를 제외하고)보다 몇 배 더 작은 외골격과 운영자 사이의 상호작용을 유지하면서 자연스럽게 직관적인 제어를 구현하는 것이다. 한 형태에서, 발 센서에 따른 제어에 적합한 이러한 제어 법칙 중 하나는 다음과 같이 기술된다.

[0044] 좌측 다리를 위해서는,

$$\tau_d = \hat{g}(\theta) + K_s(s_L, s_R)J^T K_f(s_L, s_R)(F_{\text{filtered}} - s_L \cdot m_p g_{\text{foot}})$$

[0045] (1)

[0046] 우측 다리를 위해서는,

$$\tau_d = \hat{\mathbf{g}}(\theta) + \mathbf{K}_s(s_L, s_R) \mathbf{J}^T \mathbf{K}_f(s_L, s_R) (\mathbf{F}_{\text{filtered}} - s_R \cdot m_P \mathbf{g}_{\text{foot}})$$

위의 방정식에 사용된 함수들과 기호들은 다음 문맥에서 정의된다.

도 9에 도시된 방정식 (1)과 (2)에서, \mathbf{J}^T 260은 자코비안 전치행렬(transposed Jacobian matrix)인데, 이 자코비안 전치행렬은 또 다른 기준좌표계(예컨대 골반에 부착된 기준좌표계)에 관하여 특정 기준좌표계(예컨대 풋 힘-모멘트 센서)의 병진 운동 속도 및 각속도에 관하여 자코비안 자체를 가진 외골격 조인트 각도 θ 200 및 외골격 조인트 속도 $\dot{\theta}$ 210의 함수이다.

용어 $\mathbf{g}(\theta)$ 280은 중력가속도 상쇄 토크 명령(gravity compensation torque command)에 상응한다. 이 중력가속도 상쇄 명령은 정상상태 중량 상쇄를 제공하는 공급-전진 명령(feed-forward command)이며 페이로드와 외골격이 제어 루프(control loop)의 힘-모멘트 센서에 따른 포트(Force-Moment sensor-based port)를 사용하지 않고도 지지될 수 있다. 또한 상기 중력가속도 상쇄 명령은 조인트 토크 센서 측정 게인(joint torque sensor calibration gain)의 자동 인-필드 승인(automatic in-field verification)과 제로-오프셋(zero-offset)을 실시하는데 사용될 수 있다. 중력가속도 상쇄 토크 명령 $\mathbf{g}(\theta)$ 280은 전체적인 외골격과 중력가속도가 있을 때의 페이로드 형상(payload configuration), 그리고 페이로드와 링크들의 질량 특성(mass property), 외골격과 지면 사이의 상호 힘과 모멘트 및 운영자와 외골격 사이의 힘-모멘트 상호작용들에 따른다.

$\mathbf{F}_{\text{filtered}}$ 290은 우측 또는 좌측 풋 힘-모멘트 센서에 의해 측정된 로우-패스 필터 힘 및 모멘트 벡터(low-pass force and moment vector)이며 제어 시스템을 위한 입력 변수로서 사용된다. 실질적으로, 시스템의 반응성을 증가시키기 위하여, 그리고 동시에 시스템의 안정성을 유지하기 위하여, 특징적인 비선형, 운동학적으로 조절된 로우-패스 필터 변수들이 사용된다. 이 개념에 대해 다수의 상이한 실행들도 가능하다.

용어 $m_P \mathbf{g}_{\text{foot}}$ 270은 우측 또는 좌측 풋 힘-모멘트 센서 기준좌표계에서 운영자의 중량에 가까운 수량이다. 팔, 골반 또는 백(back)-장착된 로드 셀(load cell)의 경우에서, 이 값은 일반적으로 제로 또는 목표로 하는 힘-모멘트 값(예를 들어 사람이 착용한 외골격에 의해 가해진 전진 푸시(forward push) 값)으로 설정된다.

s_L 300 및 s_R 310으로 언급된 변수들은 중앙 제어 유닛에 의해 사용되어야 하는 운영자와 외골격 사이의 목표 힘을 산정하도록 사용되는 스케일링 비율(scaling factor)이다. 몇몇의 상이한 함수들은 이 목적을 위해 사용될 수 있으며 외골격을 제어하도록 사용되는 몇몇 실행들이 하기에서 기술된다.

좌측 풋 및 우측 풋 중량 분배 계수(weight distribution factor)인 s_L 300 및 s_R 310은 각각, 어떤 발이 지면에 닿아 있는지에 따라 또는 양 발이 지면에 닿아 있다면 각각의 발의 상대적인 분배비(weighting)에 따라, 조인트 토크들을 스케일링하기 위한 메트릭(metric)을 제공하기 위하여 풋 센서들을 사용하여 산정된다. 밑에서 기술되는 간단한 계산방법에 따르면, 부호를 가진(signed) 각각의 풋 센서 기록값(양의 값은 중력가속도의 방향으로 미는 힘을 의미함)을 택하여 그 값을 부호를 가진 좌측 및 우측 풋 센서 기록값의 합으로 나누는 것이다. 이 값이 음(-)으로 가면(기계가 반응할 수 있는 것보다 더 신속하게 발을 들어 올릴 때와 같이) 0과 동일하도록 설정된다. 이 값이 양(+)의 값보다 더 크게 되면, 1과 동일하도록 설정된다. 예를 들어 s_L 이 1과 동일하고 s_R 이 0과 동일할 때, 사람은 자신의 좌측 발로 서 있고 우측 발은 들어 올린 상태이다. $s_R=0.5$ 이고 $s_L=0.5$ 이면, 사람은 두 발에 균등하게 무게를 싣고 서 있는 상태이다. $s_R + s_L$ 이 항상 정확히 1과 동일하지 않지만(이 방정식의 분모와 분자는 모두 부호를 가진 값들이다) 그 외의 다른 방정식들도 가능하며, 상대적인(항상 양의 값) 크기들은 작동을 제어하기 위하여 조인트 토크들을 스케일하기 위한 유용한 수단을 제공한다.

위에서 기술된 특성들을 가진 다수의 함수들은 스케일링 비율 즉 s_L 과 s_R 을 산정하도록 사용될 수 있다. 외골격 시스템이 거의 수평적인 표면 상에서 작동될 때와 같은 특정 경우에서, 기준 센서프레임에서 측정된 x축을 따르는 힘의 성분은 기준 풋 프레임의 중력가속도 벡터의 배향(orientation)과 상응한다.

밑의 방정식 (3)에서 볼 수 있듯이 하기 알고리즘은 스케일링 비율을 산정하도록 산정될 수 있다.

$$S_L = \begin{cases} 0 & \text{if } F_{x,L} < 0 \\ \frac{F_{x,L}}{F_{x,L} + F_{x,R}} & \text{if } \frac{F_{x,L}}{F_{x,L} + F_{x,R}} \leq 1 \\ 1 & \text{if } \frac{F_{x,L}}{F_{x,L} + F_{x,R}} > 1 \end{cases} \quad \text{and} \quad S_R = \begin{cases} 0 & \text{if } F_{x,R} < 0 \\ \frac{F_{x,R}}{F_{x,L} + F_{x,R}} & \text{if } \frac{F_{x,R}}{F_{x,L} + F_{x,R}} \leq 1 \\ 1 & \text{if } \frac{F_{x,R}}{F_{x,L} + F_{x,R}} > 1 \end{cases}$$

(3)

완전한-몸체의 외골격 시스템(full-body exoskeleton system) 뿐만 아니라 외골격의 다리에서, 힘 모멘트 센서들에 의해 감지된 힘의 목표 성분을 위한 스케일링 비율은 풋 센서들의 기준 프레임에서 측정된 중력가속도 벡터를 따르는 우측 및 좌측 풋 센서들에 의해 측정된 힘 성분의 부호를 가진 성분을 사용하여 추정될 수 있다.

$$\hat{\mathbf{g}}_L = \mathbf{g}_L / \|\mathbf{g}_L\|$$

(4)

$$\hat{\mathbf{g}}_R = \mathbf{g}_R / \|\mathbf{g}_R\|$$

(5)

이를 위하여, 단위 중력가속도 벡터 $\hat{\mathbf{g}}_{imu} = \mathbf{g}_{imu} / \|\mathbf{g}_{imu}\|$ 는, 평가된 회전 행렬(rotation matrix evaluated)을 사용하여 기준 센서 프레임에서 표현된 관성 측정 유닛(inertial measurement unit, IMU) 좌표계이다. 이 벡터는 로봇 기구학 연쇄(robot kinematics chain)와 로봇 조인트 각도(robot joint angle)들에 따른다. 좌측 및 우측 다리에 대해 중력가속도 벡터 계산은 각각 위의 방정식 (4)와 (5)에 나타나있다.

스케일링 비율 S_L 과 S_R 을 계산하도록 사용된 힘 성분은 위에서 정의된 방정식들에 의해 기술된 성분과 유사하게

얻어질 수 있지만, $F_{x,L}$ 과 $F_{x,R}$ 은 각각 $\mathbf{F}_{PE,L}^T \hat{\mathbf{g}}_L$ 과 $\mathbf{F}_{PE,R}^T \hat{\mathbf{g}}_R$ 로 대체되며, 여기서 $\mathbf{F}_{PE,L}$ 과 $\mathbf{F}_{PE,R}$ 은 각각 좌측 및 우측 풋 센서 기준 프레임의 사람과 외골격 사이의 힘의 3개 성분들이다. 기준 골반 프레임(pelvis frame of reference)에서 중력가속도 벡터를 표현하고 그리고 기준 골반 프레임에서 힘의 상호작용을 표현한다면 동일한 결과가 얻어질 수 있다.

피드백 게인 행렬(feedback gain matrix)의 2개 시리즈는 본 명세서에 기술된 실시예에서 사용될 수 있다. 이들은 센스 K_s , K_s 320 및 힘-모멘트 피드백 게인 행렬 K_f 330이다. 한 실시예에서, 센스- K 및 힘-모멘트 피드백 행렬들은 대각 행렬(diagonal)이다. 게다가 K_s 320 대각 요소들은 0과 동일하거나 또는 실질적인 값과 동일하다(substantially equal in value). 기본적으로 센스- K 피드백 게인 행렬의 특성들로 인해 제어 시스템은 작동될 수 있거나 또는 턴-오프 될 수 있으며(예컨대 요소가 0일 때) 글로벌 게인 스칼라 값(global gain scalar value)이 적용될 수 있다. 또 다른 형태에서, 힘-모멘트 게인 행렬(Force-Moment gain matrix)은 대각 행렬이다. 하지만 대각 행렬의 모든 요소들은 현저하게 상이한 값들을 가질 수 있다.

본 발명의 또 다른 실시예에서, 장치의 안정성과 동력을 최적화시키기 위하여, 슬라이딩 게인 스킴(sliding gain scheme)이 실행될 수 있다. 하이 게인(high gain)은 쉬운 이동성(effortless mobility)과 오브젝트 매니퓰레이션(object manipulation)에 바람직하다. 하지만 하이 게인으로 인해 동력값이 낮아진다. 로우 게인(low gain)은 시스템의 하중 지탱 부분(load bearing portion)들에 사용된 무거운 페이로드 하에서 불안정성을 방지하기에 바람직하다. 하지만 로우 게인으로 인해 이동성과 속도가 감소한다. 작동 동안에 시스템의 비 하중-지탱 부분(non load-bearing portion)들과 하중-지탱 부분들 사이의 게인들을 슬라이딩 시킴으로써, 장치는 동력과 이동성을 최적화시킨다. 보행 사이클(walk cycle)의 단일-다리 또는 2개의-다리 지지 부분(support part) 동안 그리고 사이클의 스윙 단계(swing phase) 동안 시스템의 성능을 증가시키기 위하여, 슬라이딩-게인 알고리즘(sliding-gain algorithm)은 다음과 같이 컨트롤 게인(control gain)들을 산정하도록 실행될 수 있다.

$$K_f(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW})f(s_i)$$

(5)

여기서, $j=f$ 또는 S 이고 힘-모멘트(F) 게인인 "센스- K "(S)를 의미하며, $I=R$ 또는 L (우측 또는 좌측 다리), 그리

고 K_{HIGH} , K_{LOW} 는 상기 계인들에 대한 최대 한계값과 최소 한계값이다. 함수 $f(s)$ 는 s (앞서 정의한 스케일링 비율 S_L 또는 S_R)가 0부터 1까지 변환에 따라 단순히 1부터 0까지 가변된다. 이러한 슬라이딩 계인 알고리즘의 한 실례는 도 7에 예시되며 하기의 방정식 (6)으로 나타난다.

$$(6) \quad SlideGain = K_{HIGH} + S_L * (K_{LOW} - K_{HIGH}) / (thresh + \epsilon)$$

좌측 다리에 대한 슬라이드계인(slidegain)은 방정식 (6)에 나타난다. 하지만 우측 다리에 대해서 유사하게 표현될 수 있다(S_L 을 S_R 로 대체시킴). $thresh$ 는 일정한 값인 계인을 초과하는 값이 되며 은 10^{-3} 내지 10^{-6} 과 같은 작은 숫자가 될 수 있다.

슬라이딩 계인 스킵이 실행될 수 있는 한 실례는 제어 인터페이스 힘 상태 관련성(controlling interface force status relationship)의 변화를 감지하는 단계를 포함하는데, 여기서 로봇 장치의 변위가 바람직하다. 그 후, 시스템은 외골격의 움직이지 않는 하중 지탱 부분을 고정하고(lock) 외골격의 움직이는 비 하중-지탱 부분을 고정해제한다(unlock). 순차적으로, 제어 시스템은 중력가속도 힘들을 포함하는 이전에 감지된 제어 인터페이스 힘 상태 관련성을 회복시키기에 필요한 외골격의 고정해제된 비 하중-지탱 부분의 조인트 회전력(joint rotational force)을 계산한다. 이 시스템은 또한 인간 몸체 상의 외골격 힘이 0인 것을 보장하기에 필요한 외골격의 고정된 하중-지탱 부분의 조인트 회전력을 포함한다. 제어 시스템은 신호를 발생시켜서 그 신호를 장치의 액츄에이터 구성요소에 전송하며 외골격의 비 하중-지탱 부분을 산정된 조인트 회전력들에 고정해제 한다. 상기 제어 시스템은 산정된 조인트 회전력을 외골격의 고정된 하중-지탱 부분에 유지하기 위하여 외골격에 결합된 변위 장치를 작동시킨다. 외골격의 조인트들이 고정되거나 또는 고정해제된 각도(degree)는 위에서 논의된 계산된 계인들의 함수이다.

도 9에서, 최종 계산된 토크 τ_d 220은 포지션 계인 K_p 370과 계산된 속도 계인 K_v 360에 대한 바람직한 조인트 위치 θ_d 350과 목표 로봇 조인트 속도 $\dot{\theta}_d$ 340을 계산하도록 사용된다. 이러한 값들은 로봇 시스템(100)의 중앙 제어 유닛(160)에 전송되며 인간 몸체의 팔다리와 센서들 사이의 제어 인터페이스 힘 상태 관련성을 유지하기 위하여 실행된다.

이전의 출원들에 추가하여, 본 발명은 운영자를 정지 동력 또는 제어원(control source)에 구속하지 않고 강도, 스테미나 및 정확한 증대를 요구하는 어떠한 분야들에도 사용될 수 있다.

인간 몸체의 운동에 일치하여 움직이는 착용식 인간 외골격을 가능하게 하기 위한 방법이 고려되고 본 명세서에 개시된다. 상기 방법은 인간 외골격을 착용하는 단계 및 인간 몸체의 팔다리 근처의 접촉 위치와 외골격에 결합된 복수의 힘 센서들 사이의 힘 상태를 감지하는 단계를 포함한다. 추가적으로, 상기 방법은 외골격의 일부분에 대해 중력가속도 방향을 산정하는 단계 및 외골격 인간-힘 반응값을 수동으로 조절하는 단계를 포함한다. 추가로, 이 방법은 힘 센서들에 대해 인간 몸체의 일부분을 변위시키는 단계 및 힘 상태의 변화를 감지하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 또한 외골격의 움직이지 않는 하중 지탱 부분을 고정하는 단계, 움직이는 외골격의 비 하중 지탱 부분을 고정해제하는 단계, 중력가속도 힘들을 포함하여 힘 상태를 회복시키기에 필요한 외골격의 고정해제된 비 하중-지탱 부분의 조인트 회전력을 산정하는 단계, 인간 몸체 상의 외골격 힘이 0이 되도록 하기에 필요한 외골격의 고정된 하중-지탱 부분의 조인트 회전력을 산정하는 단계 및 적어도 계산된 조인트 회전력들로 구성된 신호를 발생시키는 단계를 포함한다. 추가적으로, 상기 방법은 외골격에 결합된 액츄에이터 시스템에 상기 신호를 전송하는 단계 및 외골격의 고정해제된 비 하중 지탱 부분을 변위시키기 위하여 산정된 조인트 회전력들에서 상기 신호에 반응하여 외골격에 결합된 변위 장치를 작동시키는 단계를 포함한다. 게다가, 상기 방법은 외골격의 고정된 하중-지탱 부분에서 산정된 조인트 회전력을 유지시키기 위하여 상기 신호에 반응하여 외골격에 결합된 변위 장치를 작동시키는 단계 및 인간 몸체의 운동을 모방하기 위하여 위의 단계들을 반복하는 단계를 포함한다.

산업상 이용 가능성

위에서 언급된 배열들은 본 발명의 원리들을 예시하기 위한 것임을 이해해야 한다. 종래 기술의 당업자에게는 청구항들에서 설명되는 바와 같이 본 발명의 원리와 사상의 범위를 벗어나지 않고도 다양한 변형예들이 가능하

다는 것이 명백할 것이다.

도면의 간단한 설명

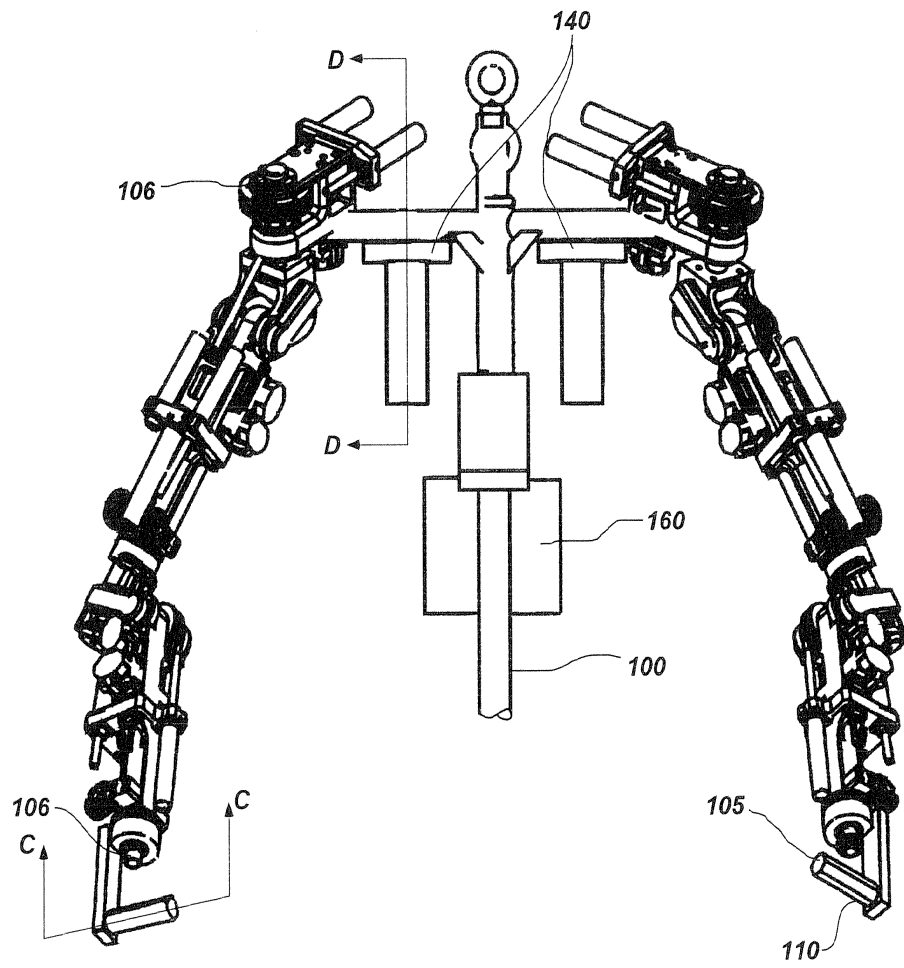
- [0010] 본 발명의 추가적인 특징들과 이점들은 실례로서 본 발명의 특징들을 함께 예시하는 첨부된 도면들을 참조하여 하기 상세한 설명에서 명백해 질 것이다.
- [0011] 도 1a는 로봇 프레임, 중앙 제어 유닛, 힘 센서 및 구동 시스템의 상측 부분의 횡단면을 보여주는 한 실시예를 도시한 정면도.
도 1b는 로봇 프레임, 힘 센서 및 구동 시스템의 하측 부분의 횡단면을 보여주는 한 실시예를 도시한 정면도.
- [0012] 도 2a는 도 1a의 로봇 프레임을 도시한 측면도.
도 2b는 도 1b의 로봇 프레임을 도시한 측면도.
- [0013] 도 3은 로봇 프레임과 그에 관련된 힘 센서 중 풋 부분의 한 실시예를 예시하는 도 1b의 횡단면 A-A를 도시한 도면.
- [0014] 도 4는 로봇 프레임의 풋 부분의 한 실시예를 도시한 투시도.
- [0015] 도 5는 로봇 프레임의 풋 부분의 한 실시예를 분해하여 도시한 투시도.
- [0016] 도 6은 로봇 프레임과 그에 관련된 힘 센서 중 힙 부분(hip portion)의 횡단면의 한 실시예를 도시한 도 1b의 횡단면 B-B를 도시한 도면.
- [0017] 도 7은 로봇 프레임과 그에 관련된 힘 센서 중 숄더 부분(shoulder portion)의 횡단면의 한 실시예를 도시한 도 1a의 횡단면 D-D를 도시한 도면.
- [0018] 도 8은 로봇 프레임과 그에 관련된 힘 센서 중 핸드 부분(hand portion)의 횡단면의 한 실시예를 도시한 도 1a의 횡단면 C-C를 도시한 도면.
- [0019] 도 9는 외골격 제어 시스템의 한 실시예를 예시하는 블록 다이어그램.

도면

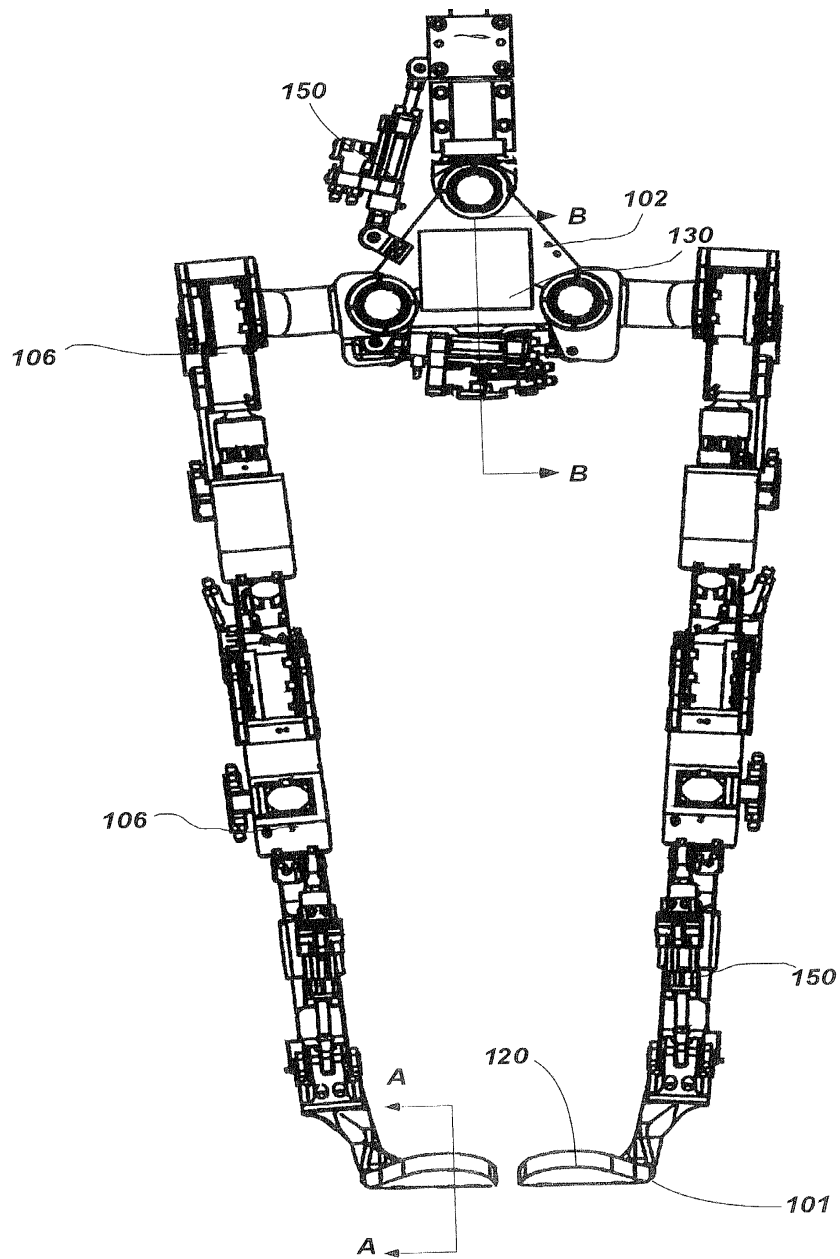
도면1

삭제

도면1a



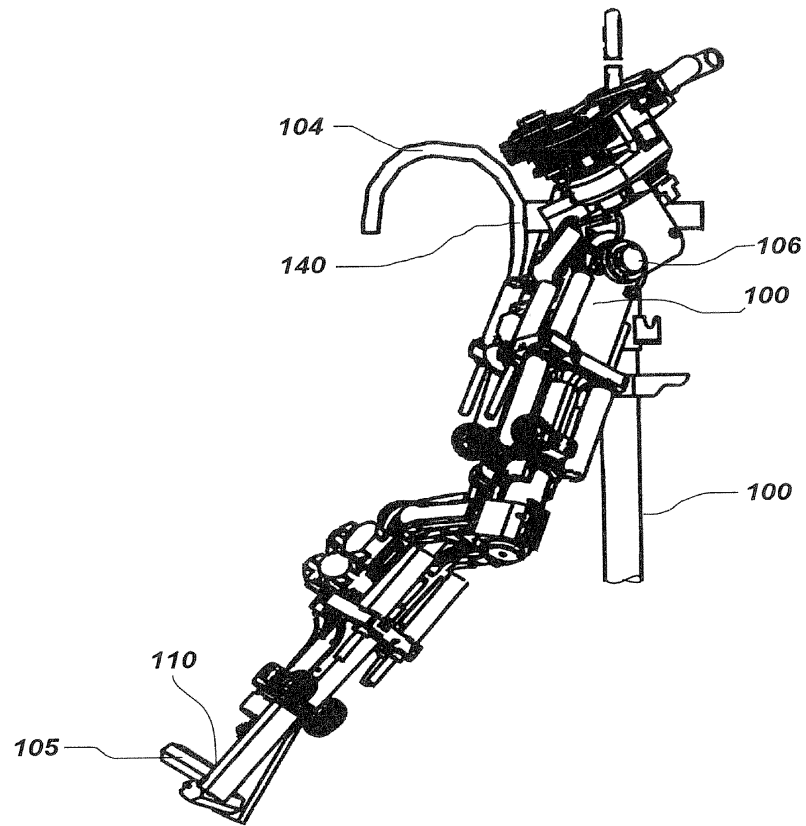
도면1b



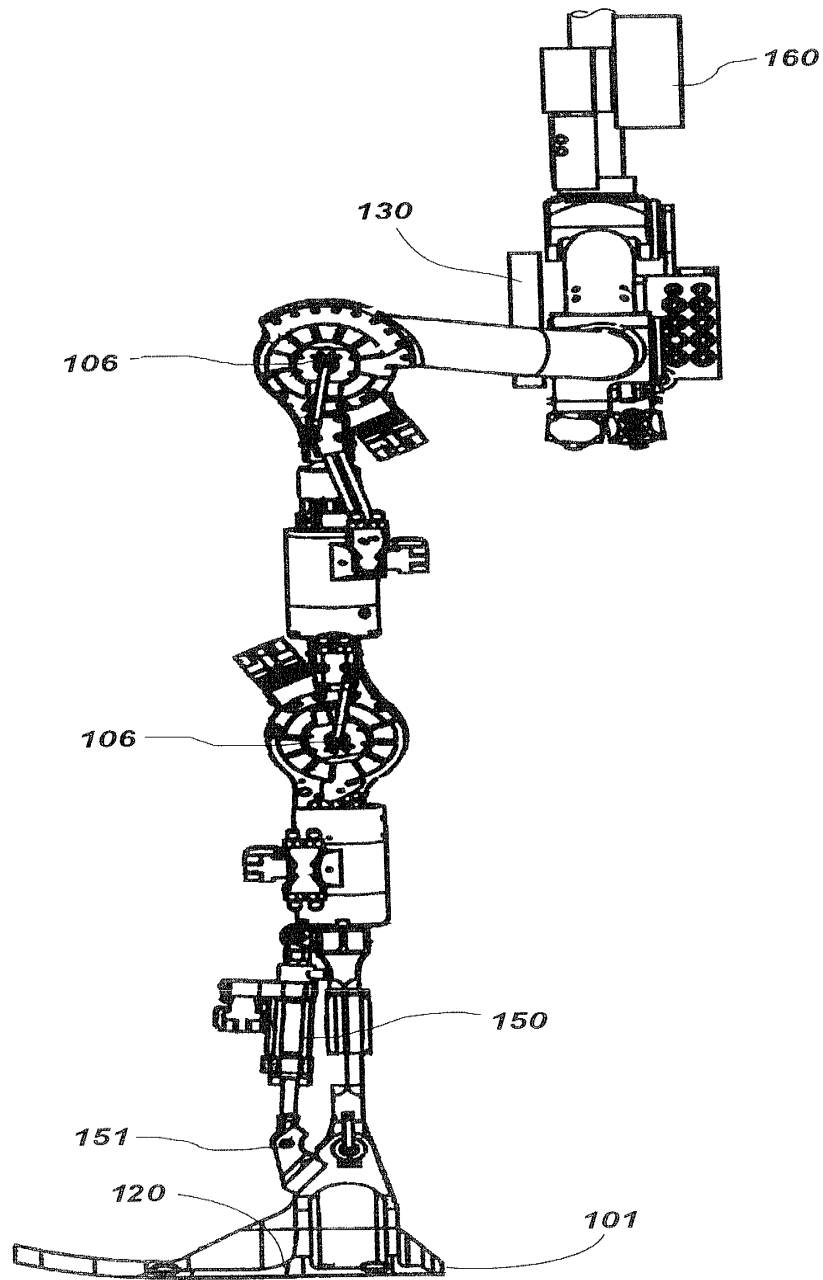
도면2

삭제

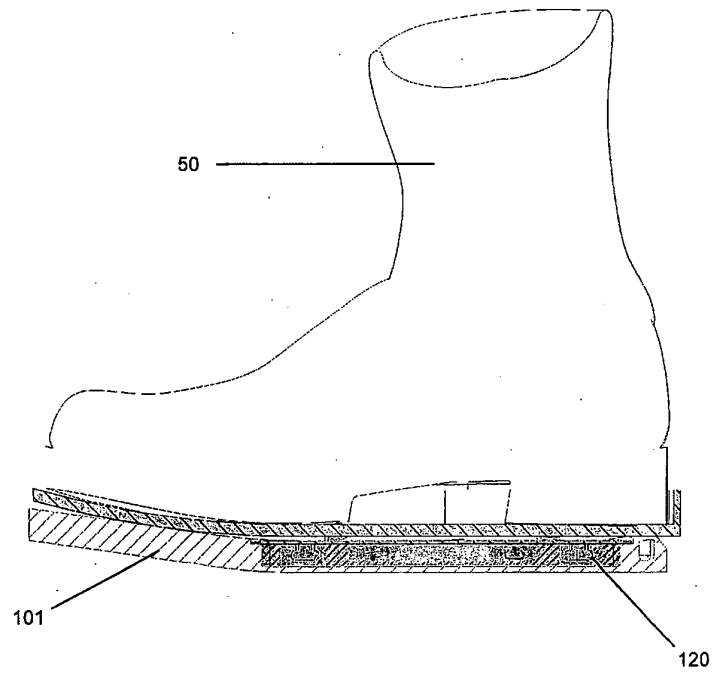
도면2a



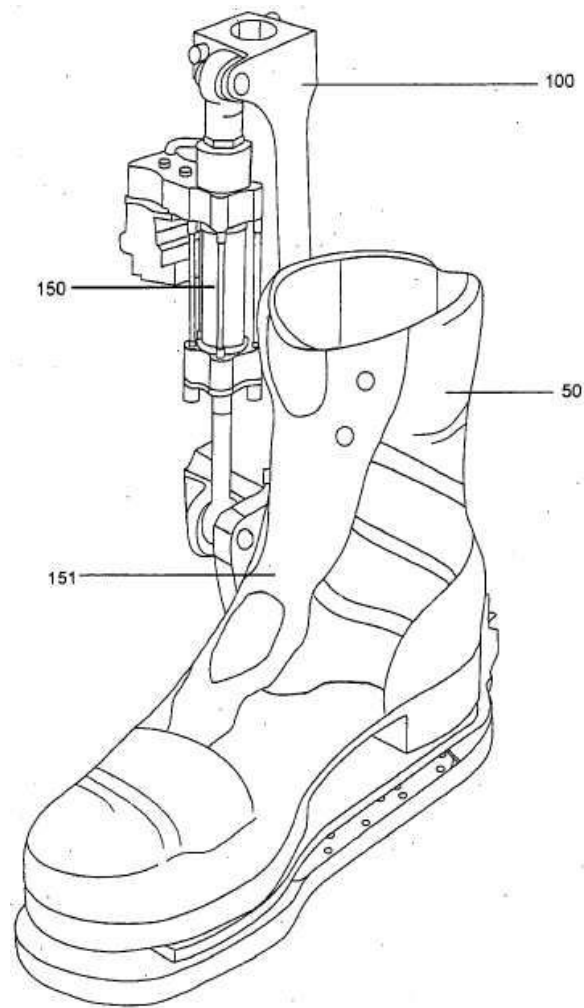
도면2b



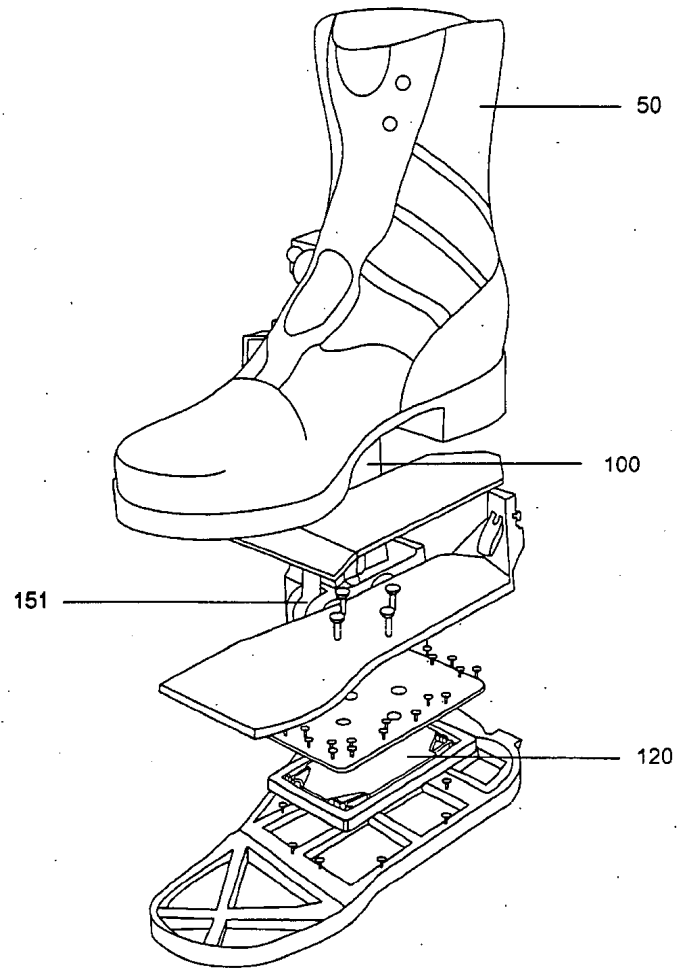
도면3



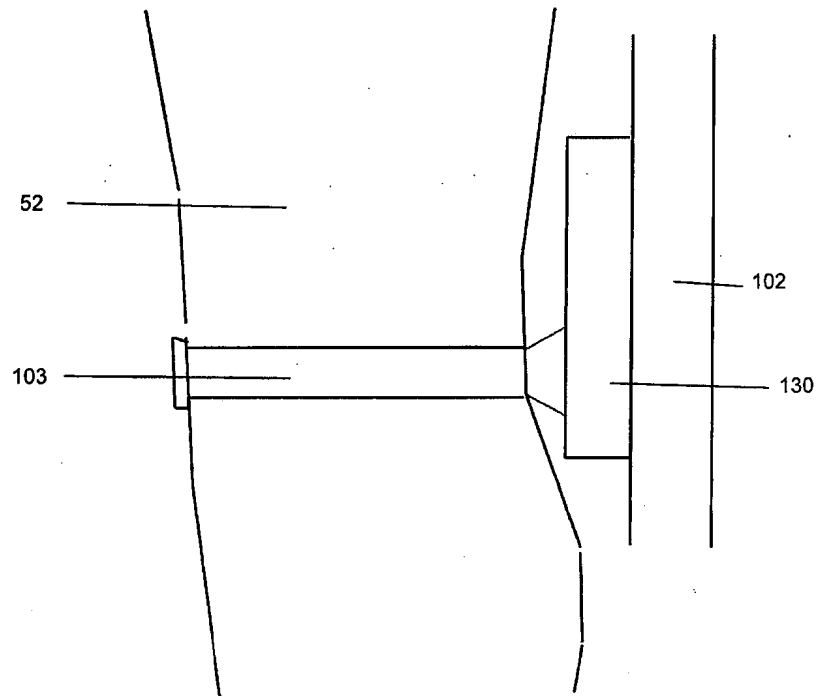
도면4



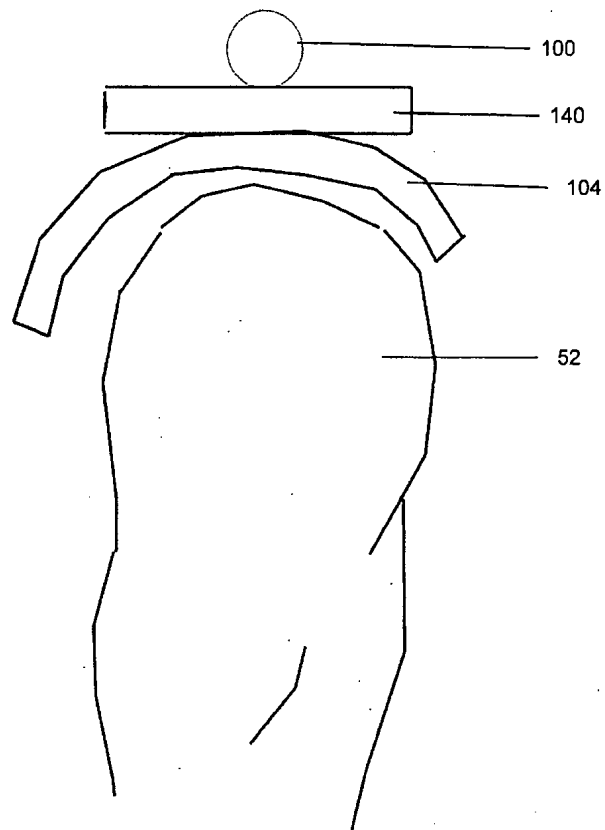
도면5



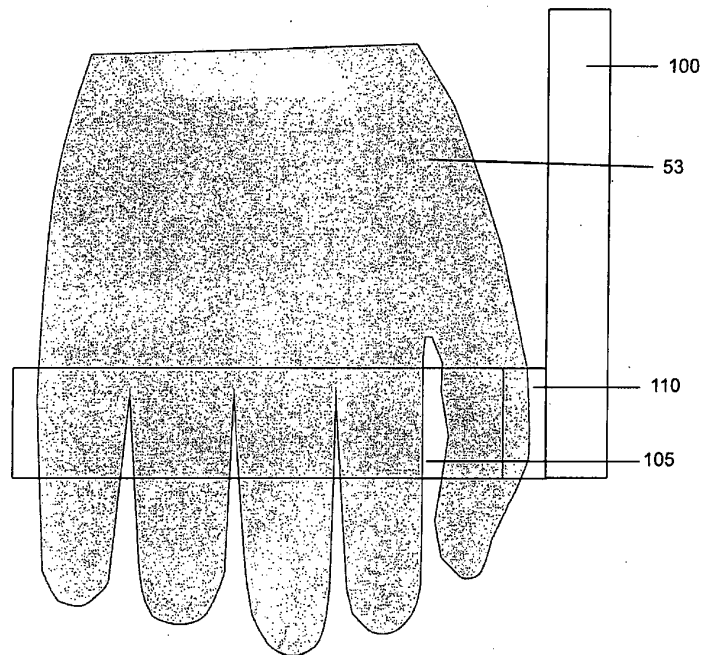
도면6



도면7



도면8



도면9

