

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6431284号
(P6431284)

(45) 発行日 平成30年11月28日(2018.11.28)

(24) 登録日 平成30年11月9日(2018.11.9)

(51) Int. Cl. F I
A 6 1 F 2/54 (2006.01) A 6 1 F 2/54
B 2 5 J 3/00 (2006.01) B 2 5 J 3/00 Z

請求項の数 26 外国語出願 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2014-101877 (P2014-101877)	(73) 特許権者	596060697
(22) 出願日	平成26年5月16日 (2014.5.16)		マサチューセッツ インスティテュート オブ テクノロジー
(65) 公開番号	特開2014-226550 (P2014-226550A)		アメリカ合衆国マサチューセッツ州021 39ケンブリッジ, マサチューセッツ・ア ヴェニュー・77
(43) 公開日	平成26年12月8日 (2014.12.8)		
審査請求日	平成29年3月31日 (2017.3.31)		
(31) 優先権主張番号	61/824,509	(74) 代理人	100107766
(32) 優先日	平成25年5月17日 (2013.5.17)		弁理士 伊東 忠重
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100070150
			弁理士 伊東 忠彦
		(74) 代理人	100091214
			弁理士 大貫 進介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 過剰人工付属肢を用いて人間の手の機能を拡張する装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも1つの過剰人工付属肢を用いて人間の手の機能を拡張する装置であって、当該装置は：

人間の腕に連結するように構成されたブレースと；

該ブレースに取り付けられた過剰人工付属肢と；

人間の手の様々な部分に連結されるとともに、人間の手の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つに関する情報を検出するように構成されたセンサと；

前記センサ及び前記過剰人工付属肢に結合されたプロセッサと；を備えており、

該プロセッサは、(i) 前記センサからの出力に基づいて前記過剰人工付属肢の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つを決定し、且つ(ii) 該決定された、姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つに従って前記過剰人工付属肢を作動させるように構成された少なくとも1つの制御信号を送信する、

装置。

【請求項2】

前記過剰人工付属肢は、該過剰人工付属肢を人間の手首に連結するために前記ブレースに配置される、

請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記過剰人工付属肢は、複数の自由度を示す、
請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記過剰人工付属肢は、前記プロセッサからの少なくとも 1 つの制御信号に基づいて、
人工関節を作動させるような少なくとも 1 つのアクチュエータを含む、
請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

複数の前記センサのうちの 1 つのセンサが、人間の指や、人間の掌、又は人間の手首の
位置を検出する、
請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 6】

前記センサは、人間の手の親指、人差し指、又は中指の位置を検出する、
請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】

前記センサは、(i) 人間の指の関節、又は (i i) 人間の手首の関節の角度を検出する、
請求項 5 に記載の装置。

【請求項 8】

(i) 人間の指の先端により加えられる接触力を検出する力センサ、(i i) 人間の掌
における圧力を検出する圧力センサ、又は (i i i) 人間の指の関節におけるトルクを検
出するトルクセンサ、のうちの少なくとも 1 つをさらに備えており、
前記プロセッサは、人間の手の姿勢に関する情報を検出するような複数のセンサからの
出力、及び力センサや、圧力センサ、トルクセンサ、又はこれらの任意の組合せからの出
力に基づいて、前記過剰人工付属肢の姿勢を決定する、
請求項 1 に記載の装置。

20

【請求項 9】

(i) 人間の掌の向きを検出する加速度計、又は (i i) 人間の掌の動きを検出するジ
ャイロスコープ、のうちの少なくとも 1 つをさらに備えており、
前記プロセッサは、人間の手の姿勢に関する情報を検出するような複数のセンサからの
出力、及び加速度計からの出力や、ジャイロスコープからの出力、又はこれら両方の出力
に基づいて、前記過剰人工付属肢の位置を決定する、
請求項 1 に記載の装置。

30

【請求項 10】

前記プロセッサは、前記過剰人工付属肢を位置付けするために少なくとも 1 つの制御信
号を送信して、(i) 物体を把持する、(i i) 物体を操作する、又は (i i i) 人間の
指と一緒に作業を行うように、人間の手を補助する、
請求項 1 に記載の装置。

【請求項 11】

少なくとも 1 つの過剰人工付属肢を用いて人間の手の機能を拡張する方法であって、当
該方法は：

40

複数のセンサからの出力信号を受信するステップであって、各出力信号は、人間の手の
一部の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも 1 つに関する様
々な情報を示す、受信するステップと；

前記センサ及び前記過剰人工付属肢に結合されたプロセッサによって、前記センサから
の出力信号に基づいて前記過剰人工付属肢の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトル
クのうちの少なくとも 1 つを決定するステップと；

前記プロセッサによって、前記決定された、姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びト
ルクのうちの少なくとも 1 つに従って、前記過剰人工付属肢を作動させるために少なく
とも 1 つの制御信号を送信するステップと；を含む、

50

方法。

【請求項 1 2】

前記センサからの出力信号を受信するステップは：

人間の指や、人間の掌、又は人間の手首の位置を示す出力信号を受信するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記センサからの出力信号を受信するステップは：

人間の手の親指や、人差し指、又は中指の位置を示す出力信号を受信するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記センサからの出力信号を受信するステップは：

(i) 人間の指の関節、又は (i i) 人間の手首の関節の角度を示す出力信号を受信するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記センサからの出力信号を受信するステップは：

力センサからの出力信号を受信するステップであって、前記力センサからの出力信号は、人間の指の先端により加えられる接触力を示す、受信するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記センサからの出力信号を受信するステップは：

トルクセンサからの出力信号を受信するステップであって、前記トルクセンサからの出力信号は、人間の指の関節におけるトルクを示す、受信するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記センサからの出力信号を受信するステップは：

加速度計からの出力信号を受信するステップであって、前記加速度計からの出力信号は、人間の手の一部の向きを示す、受信するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記センサからの出力信号を受信するステップは：

ジャイロスコープからの出力信号を受信するステップであって、前記ジャイロスコープからの出力信号は、人間の掌の動きを示す、受信するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 9】

前記少なくとも 1 つの制御信号を送信するステップは：

前記過剰人工付属肢の人工関節を作動させるために、少なくとも 1 つの制御信号をアクチュエータに送信するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記少なくとも 1 つの制御信号を送信するステップは：

前記過剰人工付属肢を位置付けするために少なくとも 1 つの制御信号を送信して、(i) 物体を把持する、(i i) 物体を操作する、又は (i i i) 人間の指と一緒に作業を行うように、人間の手を補助するステップを含む、

請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 2 1】

少なくとも 1 つの過剰人工付属肢を用いて人間の手の機能を拡張する装置であって、当該装置は：

10

20

30

40

50

人間の腕に連結するように構成されたブレースと；

該ブレースに取り付けられた第1の過剰人工付属肢であって、第1の過剰人工付属肢は、第1の複数のアクチュエータを有しており、各アクチュエータは、第1の過剰人工付属肢の異なる関節に対応する、第1の過剰人工付属肢と；

第1の過剰人工付属肢に対して反対側の位置でブレースに取り付けられた第2の過剰人工付属肢であって、第2の過剰人工付属肢は、第2の複数のアクチュエータを含んでおり、各アクチュエータは、第2の過剰人工付属肢の異なる関節に対応する、第2の過剰人工付属肢と；

人間の手の様々な部分に連結されるとともに、人間の手の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つに関する情報を検出するように構成されたセンサと；

10

前記センサ及び第1及び第2の過剰人工付属肢に結合されたプロセッサであって、該プロセッサは、(i)第1及び第2の過剰人工付属肢の各関節について、前記センサからの出力に基づいて姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つを決定し、及び(ii)前記アクチュエータに対応する関節を位置付けするように構成される異なる制御信号を、第1及び第2の過剰人工付属肢の各アクチュエータに送信する、プロセッサと；を備える、

装置。

【請求項22】

前記センサは、人間の指の先端により加えられる接触力を検出する力センサを含む、請求項21に記載の装置。

20

【請求項23】

前記センサは、人間の掌の向きを検出する加速度計を含む、請求項21に記載の装置。

【請求項24】

前記センサは、人間の掌の動きを検出するジャイロスコープを含む、請求項21に記載の装置。

【請求項25】

前記センサは、人間の掌に加えられた圧力を検出する圧力センサを含む、請求項21に記載の装置。

30

【請求項26】

前記センサは、人間の指の関節におけるトルクを検出するトルクセンサを含む、請求項21に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願

本願は、2013年5月17日に出願された "Apparatus and Method of Supernumerary, Wearable Robotic Fingers" という表題の米国仮特許出願第61/824,509号について優先権を主張するものであり、この文献の全体が、参照することにより本明細書に組み込まれる。

40

【0002】

本願の解決策は、人間の手の機能を補完するような過剰人工付属肢に関するものである。

【背景技術】

【0003】

従来技術において、自然な身体の一部の代わりに機能するような補綴装置を形成することが知られている。例えば事故で指を失った場合に、その人は、失った指の代わりに人工指を装着することができる。このように、補綴装置によって、ユーザが以前あった手全体から失われた機能の一部を取り戻すことを可能にする。また、このような装置は、特定の

50

手の筋肉の運動によって制御されるように設計されている。例えば、この補綴装置は、ユーザの手の筋肉によって生成された神経信号を検出するセンサを含んでおり、このような信号に基づいて補綴装置の運動の基礎を形成する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

こうして、補綴装置を操作するには、新たなユーザが、この装置の要求に対応するために、自分の手の筋肉を訓練する必要がある。このように、ユーザは、典型的には、人工指を制御するために、不自然で直感的でない筋肉の運動を行わなければならない。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一実施形態によれば、少なくとも1つの過剰人工付属肢を用いて人間の手の機能を拡張する装置が提供される。この装置は、人間の腕に連結するように構成されたブレース(brace)と、このブレースに取り付けられた過剰人工付属肢と、人間の手の様々な部分に連結されるとともに、人間の手の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つに関する情報を検出するように構成されたセンサとを含む。この装置は、センサ及び過剰人工付属肢に結合されたプロセッサも含む。このプロセッサは、センサからの出力に基づいて過剰人工付属肢の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つを決定し、且つこの決定された、姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つに従って過剰人工付属肢を作動させるように構成された少なくとも1つの制御信号を送信する。

【0006】

過剰人工付属肢は、過剰人工付属肢を人間の手首に連結するためにブレースに配置してもよい。いくつかの実施形態では、過剰人工付属肢は複数の自由度を示す。また、過剰人工付属肢は、プロセッサからの少なくとも1つの制御信号に基づいて、人工関節を作動させるような少なくとも1つのアクチュエータを含んでもよい。

【0007】

種々の実施形態では、複数のセンサのうちの1つのセンサが、人間の指や、人間の掌、又は人間の手首の位置を検出する。さらなる実施形態では、センサは、人間の手の親指、人差し指、又は中指の位置を検出する。センサは、(i)人間の指の関節、又は(ii)人間の手首の関節の角度を検出してよい。

【0008】

この装置は、(i)人間の指の先端により加えられる接触力を検出する力センサ、(ii)人間の掌における圧力を検出する圧力センサ、又は(iii)人間の指の関節におけるトルクを検出するトルクセンサ、のうちの少なくとも1つも含む。これらの実施形態では、プロセッサは、人間の手の姿勢に関する情報を検出するような複数のセンサからの出力、及び力センサや、圧力センサ、トルクセンサ、又はこれらの任意のこれらの組み合わせからの出力に基づいて、過剰人工付属肢の姿勢を決定する。

【0009】

この装置は、(i)人間の掌の向きを検出する加速度計、又は(ii)人間の掌の動きを検出するジャイロスコープ、のうちの少なくとも1つを含んでもよい。これらの実施形態では、プロセッサは、人間の手の姿勢に関する情報を検出するような複数のセンサからの出力、及び加速度計からの出力や、ジャイロスコープからの出力、又はこれらの両方の出力に基づいて、過剰人工付属肢の位置を決定する。

【0010】

また、プロセッサは、過剰人工付属肢を位置付けするために少なくとも1つの制御信号を送信して、(i)物体を把持する、(ii)物体を操作する、又は(iii)人間の指と一緒に作業を行うように、人間の手を補助してもよい。

【0011】

本発明の一実施形態によれば、少なくとも1つの過剰人工付属肢を用いて人間の手の機

10

20

30

40

50

能を拡張する方法が提供される。この方法は、複数のセンサからの出力信号を受信するステップを含む。各出力信号は、人間の手の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つに関する様々な情報を示す。この方法は、センサからの出力信号に基づいて過剰人工付属肢の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つを決定するステップを含む。さらに、この方法は、決定された、姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つに従って、過剰人工付属肢を作動させるために少なくとも1つの制御信号を送信するステップを含む。

【0012】

この方法は、人間の指や、人間の掌、又は人間の手首の位置を示す出力信号を受信するステップを含む。この方法は、人間の手の親指や、人差し指、又は中指の位置を示す出力信号を受信するステップを含んでもよい。いくつかの実施形態では、本方法は、(i)人間の指の関節、又は(ii)人間の手首の関節の角度の表示を示す出力信号を受信するステップを含む。また、この方法は、力センサからの出力信号を受信するステップであって、その出力信号は人間の指の先端により加えられる接触力を示す、受信するステップを含んでもよい。さらに、この方法は、トルクセンサからの出力信号を受信するステップであって、その出力信号は人間の指の関節におけるトルクを示す、受信するステップを含んでもよい。いくつかの実施形態では、この方法は、加速度計からの出力信号を受信するステップであって、その出力信号は人間の手の一部の向きを示す、受信するステップを含む。この方法は、ジャイロスコープからの出力信号を受信するステップであって、その出力信号は人間の掌の動きを示す、受信するステップを含んでもよい。

【0013】

さらに、この方法は、過剰人工付属肢の人工関節を作動させるために、少なくとも1つの制御信号をアクチュエータに送信するステップを含んでもよい。過剰人工付属肢を位置付けするために少なくとも1つの制御信号を送信して、(i)物体を把持する、(ii)物体を操作する、又は(iii)人間の指と一緒に作業を行うように、人間の手を補助するステップを含んでもよい。

【0014】

本発明の別の実施形態によれば、少なくとも1つの過剰人工付属肢を用いて人間の手の機能を拡張する装置が提供される。この装置は、人間の腕に連結するように構成されたブレースと、このブレースに取り付けられた第1及び第2の過剰人工付属肢とを含む。第1の過剰人工付属肢は、第1の複数のアクチュエータを有しており、各アクチュエータは、第1の過剰人工付属肢の異なる関節に対応する。同様に、第2の過剰人工付属肢は、第2の複数のアクチュエータを有しており、各アクチュエータは、第2の過剰人工付属肢の異なる関節に対応する。また、第2の過剰人工付属肢は、第1の過剰人工付属肢に対して反対側の位置でブレースに取り付けられている。

【0015】

この装置は、人間の手の様々な部分に連結されるとともに、人間の手の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つに関する情報を検出するように構成されたセンサも含む。さらに、この装置は、センサ及び過剰人工付属肢に結合されたプロセッサを含む。このプロセッサは、(i)第1及び第2の過剰人工付属肢の各関節について、センサからの出力に基づいて姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つを決定し、及び(ii)アクチュエータに対応する関節を位置付けするように構成される異なる制御信号を、第1及び第2の過剰人工付属肢の各アクチュエータに送信する。

【0016】

センサは、人間の指の先端により加えられる接触力を検出する力センサを含んでもよい。いくつかの実施形態では、センサは、人間の掌の向きを検出する加速度計、人間の掌の動きを検出するジャイロスコープ、又はこれらの両方を含む。また、センサは、人間の掌に加えられた圧力を検出する圧力センサを含んでもよい。さらに、センサは、人間の指の関節におけるトルクを検出するトルクセンサを含んでもよい。

前述した実施形態の特徴は、添付の図面を参照して、以下の詳細な説明を参照することによってより容易に理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】過剰人工付属肢を用いて人間の手の機能を拡張するような装置の概略図である。

【図2】図1に示された装置の例示的な実施形態及び用途を示す図である。

【図3】図1に示された装置の例示的な実施形態及び用途を示す図である。

【図4】図1に示された装置の例示的な実施形態及び用途を示す図である。

【図5】図1に示された装置が人間の手の把握を補完するような使用例を示す図である。

【図6】図1に示された装置によって人間の手の把握を補完するような使用例を示す図である。

【図7】図1に示された装置によって人間の手の把握を補完するような使用例を示す図である。

【図8】図1に示された装置によって人間の手の把握を補完するような使用例を示す図である。

【図9】図1に示された装置によって人間の手の把握を補完するような使用例を示す図である。

【図10】図1に示された装置によって人間の手の把握を補完するような使用例を示す図である。

【図11】図1に示された装置によって人間の手と一緒に補助作業を行うような使用例を示す図である。

【図12】図1に示された装置によって人間の手と一緒に補助作業を行うような使用例を示す図である。

【図13】図1に示された装置によって人間の手と一緒に補助作業を行うような使用例を示す図である。

【図14】物体を把握している間の、人間の手及び過剰人工付属肢の典型的な位置を示す図であり、これらの位置は、人間の手の位置と過剰人工付属肢の位置との間の相互関係を決定するための実験データとして記録される。

【図15】収集された実験データに基づいて実行された主成分分析結果の一例を示す図である。

【図16】過剰人工付属肢の制御アルゴリズムの精度を示すデータを表す図である。

【図17】図1に示された装置を使用する例示的なフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0018】

例示的な実施形態は、人間の手の自然な能力を向上させるためのものである。人がこのような例示的な実施形態を装着しているときに、これらの実施形態は、ユーザの手が完全に機能し且つ健全である、又は指失っているか、或いは準最適の器用さを呈するか否かに拘わらず、様々な物体を把握、保持、及び/又操作する際にその人を支援することができる。そのために、例示的な実施形態は、過剰人工付属肢を有する装置を含んでおり、ユーザがこの装置を装着したときに、装置によって、過剰人工付属肢を作動させて、ユーザが様々な作業を達成するのを助けるような協調的態様でユーザの手と一緒に移動させる。

【0019】

一般的に、人が損傷した四肢の失われた機能の一部を取り戻すことを可能にするような従来の補綴装置とは異なり、過剰付属肢は、ユーザの手の通常の機能を補完する。また、過剰付属肢によって、ユーザが片方の健全な人間の手を使って達成するのが通常困難な作業を実行することが可能になる。例えば、ユーザが大きな、扱いにくい物体を保持する場合に、この装置は、ユーザの把握を補強するように過剰人工付属肢を配置することができる。別の例では、装置は、ユーザの主な作業を支援する補助作業を行うように過剰人工付属を配置することができる（例えば、人がキャップを回して外している間に、所定の位置にボトルを保持する、人がリンゴを保持している間に、リンゴの茎をカットする）。この

10

20

30

40

50

ように、この装置によって、ユーザが自分の通常の能力で実現できることを超えた目的を達成できるようにする。

【 0 0 2 0 】

また、付属肢は、人間の手によって行われる作業に物理的に合わせて調整される。付属肢は、複数の関節を含むことができ、こうして、付属肢の姿勢に複数の自由度を提供する。さらに、関節で接続された各セクションは、様々な形状因子を有してもよい。これらのパラメータによって、付属肢が、ユーザの手を補完するために多種多様の位置及び姿勢に適合することを可能にする。

【 0 0 2 1 】

さらに、装置の様々な実施形態は、有利には、ユーザの手又はその一部の姿勢や、位置、速度、加速度、力及び/又はトルクに応じて動作する。このように、従来技術とは異なり、装置を操作することは、ユーザにとって直感的で一貫した経験となる。具体的には、この装置のセンサは、ユーザの手の様々なメトリック(metrics)を記録する。これらのメトリックを分析することによって、装置は、ユーザの作業を補助するような過剰人工付属肢の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つを決定する。別の言い方をすれば、装置は、人間の手の配置に基づく人工付属肢のメトリックに関するデータに基づいて、ユーザを支援するために人工付属肢の所望される運動(つまり、所望の配置)を推察する。実際には、ユーザの通常の活動の過程で、装置は、人工付属肢が追加の指であるかのように挙動するように、過剰人工付属肢を作動させる。ユーザが移動し続けた場合に、装置は、その記録されたメトリックを更新して、それに応じて過剰人工付属肢を再配置する。

【 0 0 2 2 】

ここで図面を参照すると、図1には、過剰人工付属肢を使用する人間の手の機能を拡張するような装置100の概略図が示されている。この装置100は、プロセッサ110と一緒に、人間の手の様々な位置及び慣性データを感知するようなセンサ105a, 105b, 105c(以下、総称して「105」)を含んでいる。ブレース(brace)112が、プロセッサ110、過剰人工付属肢115及びそのアクチュエータ118に結合される。ユーザが装置100を装着したとき、センサ105は、ユーザの手の様々な部分に結合することができる。センサ105は、ユーザの手の様々なメトリックを検出し、プロセッサ110にこれらメトリックを転送する。これらのメトリックに基づいて、プロセッサ110は、過剰人工付属肢115の適切な後続の配置(例えば、姿勢や、位置、速度、加速度、力及び/又はトルク)を決定する。プロセッサ110は、これに回答して、過剰人工付属肢115のアクチュエータ118に制御信号を転送し、それに応じて次に過剰人工付属肢115を作動させる。また、センサ105は、手のメトリックを継続的に監視し、その結果、プロセッサ110及びアクチュエータ118は、過剰人工付属肢115の動作を継続的に更新する。

【 0 0 2 3 】

各センサ105は、ユーザの手の様々なメトリックを検出することができる。いくつかの実施形態では、センサ105は、手の一部の位置を検出する。例えば、複数のセンサ105のうちの一つが、指、掌、又は手首の位置を決定してもよい。センサ105又は別のセンサ105は、指の関節や手首の関節等の手の関節の角度を決定するように構成してもよい。いくつかの実施形態では、センサ105は、所与の人間の複数の指の関節(例えば、第1及び第2関節)の角度を決定する。それらの関節を、手の任意の指に連結するように構成できるが、センサ105を、特定の指(例えば、親指、人差し指、中指)に結合するように構成してもよい。種々の実施形態では、センサ105は、親指の内向き分回し運動(circumduction)、指の外転(abduction)、又は関節の屈曲(例えば、中手指節、指節間)を測定する。

【 0 0 2 4 】

追加の実施形態では、センサ105は、手の一部により加えられる圧力を検出することができる。例えば、センサ105は、人間の指の先端により加えられる圧力を判定するよ

10

20

30

40

50

うに構成してもよい。このようなセンサ105は、力センサ105であってもよい。いくつかの実施形態では、力センサ105は、指の爪床の色の变化を検出し、且つ指に加えられ力の量を判定してもよい。他の例では、センサ105は、掌、手の甲、又は手の側面により加えられた圧力を判定してもよい。さらに、センサ105は、トルクセンサであってもよい。この種類のセンサは、指の関節や手首等の手の一部におけるトルクを測定してもよい。種々の実施形態では、センサ105は、手の一部の向きを検出する。例えば、センサ105は、ユーザの手の一部（例えば掌、指）が、上向きに又は下向きに対向しているか否かを判定する加速度計であってもよい。また、センサ105は、手の一部の動きを検出するようなジャイロ스코ープであってもよい。装置105は、手の一部のメトリックを測定するような任意のタイプのセンサ105を使用してもよい。いくつかの実施形態では、センサ105は、指の関節角度を測定するようなストレッチセンサであってもよい。他の例として、センサ105は、曲げセンサ、又は導電性液体のチャンネルに埋め込まれたエラストマーシートを含むような液体埋め込み型エラストマー電子部品（LE3）であってもよい。センサ105は、関節の曲率を測定するようなファイバブラッグ格子（FBG）歪センサ、又は光学式リニアエンコーダ（OLE）であってもよい。別の実施形態では、センサ105は、微小電気機械（MEMS）加速度計やジャイロ스코ープ等の慣性センサを含んでもよい。特定の例示的なセンサ105は、ニューヨーク州のスタテンアイランドのImages Scientific Instrumentsによって製造されているBi-Flex Sensor（商標）；ユタ州のドラパーのFlexpoint Sensor Systemsによって製造されているBend Sensor（商標）；そしてマサチューセッツ州のボストンのTecscan, Inc.によって製造されているFlexiforce Sensor（登録商標）が挙げられる。

10

20

【0025】

装置100は、本明細書で説明するセンサ105のいずれか、いずれかの組み合わせを含んでもよい。例えば、所与の装置100では、センサ105の1種又は2種以上を、手の同じ部分に結合させてもよい。装置100は、ユーザのそれぞれの指用の力センサ105及び加速度105の別個のセットを提供してもよい。さらに、いくつかの実施形態では、装置100は、別個のトルクセンサ105をユーザの指関節のそれぞれに結合してもよい。また、装置100は、加速度計105及びジャイロ스코ープをユーザの掌に結合してもよい。このように、装置100は、所望に応じて、本明細書で説明されるセンサ105の任意の数及びこれらの組み合わせを含んでもよい。

30

【0026】

センサ105は、無線又は有線通信を介してプロセッサ110に出力信号を送信してもよい。例えば、センサ105は、センサ105の出力ポートをプロセッサ110に接続するようなワイヤを含んでもよい。別の例では、センサ105には、無線通信機器を備えてもよい。その場合に、センサ105は、当業者によって理解されるプロトコルに従って、プロセッサ110に無線出力信号を送信してもよい。

【0027】

種々の実施形態では、センサ105は、各々のセンサ105をユーザの手の様々な部分に結合するような固定装置に取り付けてもよい。例えば、センサ105は、手首の両側、掌、指関節及び指先の中心に対応する位置にブレース112を配置してもよい。別の例では、センサ105は、関心部位に対応する位置でグローブ（glove）に取り付けてもよい。この最後の例では、センサ105は、指の全長に沿って位置付けされたストレッチセンサであってもよく、各センサ105は、対応する指の関節の角度を検出する。過剰人工付属肢115の位置を決定するために、プロセッサ110は、ローカルメモリから命令を読み出して実行する。

40

【0028】

実験の後に、本発明者らは、過剰人工付属肢115の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクと、手の一部のこれらの同様の項目とが相互に関係していることを見出した。後述するように、図14、図15を参照してより詳細に説明するように、過剰人工付属肢115及び手の一部は、大抵の場合「バイオ人工相乗効果」を示す。この知見により、

50

本発明者らは、過剰人工付属肢 115 の挙動モデルを開発することができた。ここで過剰人工付属肢 115 の所望のメトリックは、手の一部の既知のメトリックから決定することができる。また、本発明者らは、次に、潜在的な他の種類のモデルの中でも、このモデルに基づいて過剰人工付属肢 115 の制御アルゴリズムを形成することができた。

【0029】

過剰人工付属肢 115 を作動させるために、プロセッサ 110 は、所望の姿勢や、位置、速度、加速度、力及び/又はトルクに応じて付属肢 115 を作動させるような制御信号を過剰人工付属肢 115 に転送する。いくつかの実施形態では、プロセッサ 110 は、信号をアクチュエータ 118 に転送する。アクチュエータ 118 によって、過剰人工付属肢 115 の一部を移動させてもよい。付属肢 115 の一部を向き合せするために、アクチュエータ 118 によって、付属肢 115 に結合された関節を回転させてもよい。アクチュエータ 118 は、関節によって形成された角度を増減させて、付属肢 115 のセクションを位置付けすることができる。いくつかの実施例では、アクチュエータ 118 は、付属肢 115 のセクションにより加えられたトルク量を制御してもよい。

10

【0030】

幾つかの実施形態では、付属肢 115 は、プロセッサ 110 と通信する 1 つ以上のセンサ 105 を含んでもよい。例えば、付属肢 115 は、その先端で圧力を検出するようなセンサ 105 を含んでもよい。このように、このセンサ 105 は、付属肢 115 の先端により加えられる接触力を測定してもよい。別の例では、付属肢 115 は、付属肢 115 の関節のトルクを検出するようなトルクセンサ 105 を含んでもよい。各センサ 105 は、付属肢 115 の所望の配置を達成するために付属肢 115 のアクチュエータに送信された制御信号を調整するような収集データをプロセッサ 110 に転送してもよい。

20

【0031】

種々の実施形態では、過剰人工付属肢 115 は、複数の関節及び複数のアクチュエータ 118 を含んでもよい。アクチュエータ 118 の数は、付属肢 115 の自由度の数（関節の数に対応する）に依存してもよい。各アクチュエータ 118 によって、付属肢 115 の別の関節を作動させてもよい。また、各アクチュエータ 118 は、プロセッサ 110 から別々の制御信号を受信してもよく、アクチュエータ 118 を使用して、その関連する関節を配置する、及び拡張して、付属肢 115 のセクションを配置してもよい。

【0032】

サーボは、典型的なタイプのアクチュエータである。例えば、付属肢 115 は、韓国のソウルの Robotis によって製造された Dynamixel AX-12A を含んでもよい。このサーボは、1.5 Nm の最大トルクだけでなく、300 度の範囲内に関節を位置付けする能力を提供する。異なる最大トルク及び異なる動作範囲を示す他のサーボ 118 を使用してもよい。空気圧アクチュエータは、別の典型的なタイプのアクチュエータである。いくつかの実施形態では、付属肢の各関節は、関節を制御するカスタムモータに結合されるが、他の様々な種々のアクチュエータを用いてもよい。過剰付属肢 115 を、様々な方法でブレース 112 に取り付けてもよい。例えば、付属肢 115 は、装着するときに、ブレース 112 によって付属肢 115 をユーザの手首に結合するようにこのブレース 112 上に位置付けしてもよい。あるいはまた、付属肢 115 は、ブレース 112 を介してユーザの腕の他の部分（ユーザの前腕又は手等）に結合してもよい。いくつかの実施形態では、付属肢 115 を、ユーザの手の側面に結合してもよい。こうして、過剰人工付属肢 115 は、ユーザの腕の任意の部分に結合するように位置付けしてもよい。いくつかの実施形態では、装置 100 は、ブレース 112 に取り付けられた 2 つの過剰人工付属肢 115 を含んでおり、ユーザの手の両側に位置付けされる。

30

40

【0033】

この明細書の説明は、単一の付属肢 115 を議論しているが、任意数の付属肢 115 を、様々な実施形態に組み込んでもよい。単一の過剰人工付属肢 115 の議論は、こうして簡略化する目的のためだけにある。いくつかの実施形態では、装置 100 は、2 つの付属肢 115 を含む。一方の付属肢 115 が、人間の親指と同様の形状因子を有しており、他

50

方の付属肢 115 が、手の最後の指（例えば、小指）と同様の形状因子を有してもよい。また、1つ以上の付属肢 115 は、複数のセクションを有してもよい。例えば、付属肢 115 は、各関節に配置された別個のアクチュエータ 118 を含む、関節によって区切られた 2 又は 3 のセクションを有してもよい。種々の実施形態では、付属肢 115 は、3つの自由度を呈するが、他の数の自由度で実装されてもよい。例えば、付属肢 115 は、従来のデカルト座標系の 3 方向の運動の自由度を有してもよい。他の例では、付属肢 115 の回転、及び / 又は付属肢 115 のセクションの回転が可能である。

【0034】

いくつかの実施形態では、付属肢 115 は、その先端に物体（ツール等）を含んでおり、この物体を作動させる 1つ以上のアクチュエータを含んでもよい。例えば、付属肢 115 は、クリッパーを含んでおり、アクチュエータは、プロセッサ 110 からの制御信号に基づいてこのクリッパーの刃を開閉してもよい。別の例では、付属肢 115 は、縫合ツールを含んでもよい。プロセッサ 110 からの制御信号に基づいて、アクチュエータ 118 は、縫合ツールを作動させて、物体に縫い目を形成してもよい。付属肢 115 がワイヤ送給装置を含む場合に、アクチュエータ 118 によって、ワイヤ送給装置を作動させて、ワイヤを消費させる又は後退させてもよい。さらなる例では、付属肢 115 は、ホルダを含んでおり、アクチュエータ 118 は、別の物体を所定の位置に保持するためにこのホルダを位置付けする。これらの実施形態は単に例示であり、他の種類ツールや、このようなツールを使用する作動方法を、装置 100 に組み込んでもよい。

【0035】

また、装置 100 は、単一のプロセッサ 110 を有するものとして説明しているが、装置 100 は、最終的なアプリケーションによって必要とされるような任意数のプロセッサ 110 を含んでもよい。特に、プロセッサ 110 は、シングルコア又はマルチコアのプロセッサを含んでもよい。装置 100 は、過剰人工付属肢 115 の制御アルゴリズムを実行可能なプロセッサ 110 の種類をいくつでも使用してもよい。

【0036】

種々の実施形態では、ユーザは、自分の体の一部にブレース 112 を取付けることにより、装置 100 を着用してもよい。例えば、ユーザ 112 は、自分の手首周りにブレース 112 を巻き付けてもよい。別の例では、ユーザは、自分の手をグローブ内にはめ込んでもよい。

【0037】

ブレース 112 は、当業者によって実行可能に考慮されるような、従来の任意の製造方法によって製造してもよい。例えば、ブレース 112 は、3D プリント（例えば、溶融堆積モデリングで形成される）や射出成形品であってもよい。快適さと使い易さを向上させるために、ブレース 112 は、軽量であることが好ましい。例えば、ブレース 112 は、約 250 グラム未満の重さとしてもよい。ブレース 112 は、例示的に、ユーザの手や、手首、前腕、又はこれらの任意の組み合わせに亘って過剰人工付属肢 115 の重量を均等に分散させるように設計されている。しかしながら、他の実施形態では、重量を均等に分散させていない。

【0038】

図 2 ~ 図 4 には、図 1 で示した装置の例示的な実施形態が示されている。具体的には、図 2 には、装置 200 が、指先により加えられる圧力や、指の関節の角度、及び手首の関節の角度を測定するようなセンサ 105 を含むような 1 つの実装形態が示されている。センサ 105 は、これらの測定値をプロセッサ（図示せず）に送信し、これらの測定値によって装置 200 の 2 つの過剰人工付属肢 115 の配置が決定される。この実施形態では、付属肢 115 をユーザの手首に結合するような両方の過剰人工付属肢 115 が、ブレース 112 に取付けられている。過剰人工付属肢 115 は、一般に、ユーザの手の両側に結合されるように位置付けされる。また、これらの過剰人工付属肢 115 は、様々な関節で接続された複数のセグメントを有している。こうして、プロセッサ 110 は、過剰人工付属肢 115 の各セグメントの配置を決定し、この配置は、セグメントをこの様に位置付けす

10

20

30

40

50

るために各関節に必要とされる回転及び伸長を含む。付属肢 115 を位置付けするために、プロセッサ 110 は、最初に、過剰人工付属肢 115 の各アクチュエータ 118 に制御信号を送信する。アクチュエータ 118 は、付属肢 115 a 及び 115 b の関節を所望の位置や向きに移動させることによって応答する。また、付属肢 115 上のセンサ 105 d によって、付属肢 115 の先端により加えられる接触力を測定し、センサ 105 d は、測定データをプロセッサ 110 に転送してもよい。プロセッサ 110 は、付属肢 115 が所望の力を発揮するようにアクチュエータ 118 に送信される制御信号を調整してもよい。

【0039】

図 3 には、2 つの過剰人工付属肢 115 を含む別の例示的な装置 300 が示されている。図 2 の装置 200 に示されるように、ユーザの手首又は前腕に装着されるような過剰人工付属肢 115 が、ブレース 112 に取り付けられる。ブレース 112 上の過剰人工付属肢 115 の位置によって、過剰人工付属肢 115 は、手首や前腕に結合される。また、過剰人工付属肢 115 は、一般にユーザの手の両側に位置している。このような過剰人工付属肢 115 は、より多くのセグメント、つまり図 2 に示される過剰人工付属肢 115 より多くの関節を有するので、プロセッサ（図示せず）は、より高い精度でこれら過剰人工付属肢 115 を配置することができる。また、装置 300 の過剰人工付属肢の 115 は、異種セグメントを有している。各セグメントは、異なる形状因子を有しており及び/又は異なる材料で構成してもよい。例えば、末端セグメントは、物体を把持するように構成された形状因子を有しており、把持を補助するために高い摩擦係数を有する材料を含んでもよい。

【0040】

図 4 には、別の例示的な装置 400 が示されている。ブレース 112 に加えて、この装置 400 は、ストレッチセンサ 105 が取り付けられたグローブを含む。こうして、各ストレッチセンサ 105 は、その対応する指のメトリックを取得することができる。この実施形態では、3 つのストレッチセンサ 105 は、ユーザの親指、人差し指、及び中指のメトリックを取得するが、他の実施形態では、装置 400 は、各指のストレッチセンサ 105 を備えている。また、ストレッチセンサ 105 は、ワイヤを介してプロセッサ（図示せず）に電気的に結合されている。プロセッサ 110 は、ストレッチセンサ 105 からの信号を処理して、本明細書で説明する任意のステップに従って過剰人工付属肢の 115 を配置してもよい。

【0041】

図 5 ~ 図 10 には、図 1 に示した装置 100 の様々な異なる例示的な用途が示されている。これらの例では、装置 100 は、物体を把持する際にユーザの手を補助する。図 5 には、単一の過剰人工付属肢 115 が、ユーザによって保持された物体、つまりカップを支持するような装置 500 が示されている。この例では、過剰人工付属肢 115 は、物体の底面を上を支えている。図 6 ~ 図 10 には、2 つの過剰人工付属肢 115 がユーザの把握を補完するような装置 600, 700, 800, 900, 1000 が示されている。これらの例のいくつかでは、装置 600, 700, 800 は、物体を握るために過剰位置人工付属肢 115 を位置付けする。残りの例では、装置 900, 1000 は、物体の側面を保持するために過剰人工付属肢 115 を位置付けし、これにより、ユーザの保持を補強する。

【0042】

図 11 ~ 13 には、図 1 で説明した装置 100 の他の様々な例示的な用途が示されている。これらの例では、装置 100 は、人間の手と一緒に補助作業を行う。例えば、図 11 には、オンボードクリッパー 130 を含む過剰人工付属肢 115 が示されている。ユーザが物体、例えばリンゴを把持する場合に、プロセッサ 110 及びアクチュエータ 118 は、物体のステム（柄：stem）の周囲にクリッパー 130 の刃を位置付けする。プロセッサ 110 及びアクチュエータ 118 は、クリッパー 130 を作動させてステム（柄）を切断することもできる。このようにして、カッター（クリッパー）130 が、ユーザの手の作業とは別の作業であるが、ユーザの手の作業の作業に相補的な作業を実行する。ユーザが

10

20

30

40

50

物体を把持する場合に、クリッパー 130 は、同システムをカットする。

【0043】

図12、図13では、過剰人工付属肢(複数可)115は、ユーザが物体を操作する場合に、その物体を所定の位置に保持する。図12には、ホルダー130付きの過剰人工付属肢115が示されており、このホルダー130は、ユーザが、ドリルを操作する間に、ネジを所定の位置に保持することができる。図13には、ユーザがキーボードにタイプしている間に、タブレットコンピュータ装置を保持する過剰人工付属肢115が示されている。様々な他の例では、過剰人工付属肢115は、ユーザがその物体を開ける際に(例えば、ボトルからキャップを外す)、その物体を保持することができる。

【0044】

ここで過剰人工付属肢115の制御を参照すると、装置100の制御アルゴリズムは、手の一部の挙動に関して過剰人工付属肢115の有利な挙動をモデル化する実験データから導出される。理論に縛られることを望まないが、これらの例示的アルゴリズムは、相乗効果の原理に基づいている。人間の手の文脈では、様々なグループの筋肉は、それら筋肉が単一の制御信号により活性化されるので、生物学的な相乗効果を示す。筋肉の様々なグループの中で実証された相乗効果を考慮して、手は、制御信号が展開される様式に基づいて多くの複雑な運動を達成することができる。実際には、少ない数の信号によって、広範な範囲の運動を生成することができる。これらの運動の各々は、筋肉の関連グループに中継される制御信号の特定のシーケンス及び/又は重ね合わせに依存する。

【0045】

様々な実施形態の文脈では、発明者らが過剰人工付属肢115の所望の挙動をモデル化した場合に、発明者らは、過剰人工付属肢115が人間の手の自然な指との相乗効果を示すことを見出した。過剰人工付属肢115は、実際には筋肉のグループ又は神経を有していないため、これらの相乗効果は、人工(例えば、「バイオ人工」)である。付属肢115の制御機能(複数可)におけるこれら相互関係を考慮することにより、御装置100によって、過剰人工付属肢115を制御して、それら過剰人工付属肢が人間の手の自然な伸長であるように、すなわちそれら過剰人工付属肢がユーザの自然な手の一部と協力して機能するような筋肉のグループや関節を有しているかのように挙動させることができる。特に、本発明者らは、ユーザの自然な手の配置に基づいて過剰人工付属肢115の配置を決定するための例示的な制御アルゴリズムを形成した。

【0046】

アルゴリズムを開発する技術者や他の開発者は、ユーザの手や過剰人工付属肢115のメトリックを捕捉できるような装置を装着してもよい。いくつかの実施形態では、開発者は、メトリックを捕捉できるようなデータグローブを備えた装置100を装着してもよい。例示的なデータグローブは、テキサス州リーグシティのVirtual Realities, Ltdによって製造されたShape Handである。例えば、データグローブは、ユーザの手首や、指先及び指関節の位置等のメトリックを捕捉する光ファイバセンサを含んでもよい。例示的な光ファイバセンサは、カナダのトロントのMeasurandによって製造されたセンサを含む。他の例では、データグローブは、本明細書で説明するセンサ105のいずれかを含んでもよい。いくつかの実施形態では、装置100のメモリは、手や過剰人工付属肢115の一部に関するメトリックを捕捉するために再プログラムされる。さらなる実施形態では、装置100は、メトリックを捕捉し且つ記録するためのプログラムを実行するコンピュータ装置に接続される。

【0047】

データ自体を取得するために、開発者は、作業ために自分の手を配置し(例えば、自分の指を位置付けし、手を向き合せし、指先を介して所望の力を作用させる)、この作業において開発者を補助する態様で過剰人工付属肢115を配置し、この配置のためのすべてのメトリック(例えば、姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つ)を記録する。開発者は、次に、付属肢115を手動で配置してもよい。いくつかの実施形態では、開発者は、テキサス州オースティンのNational Instrumentsによって

10

20

30

40

50

製作されたLabview等のソフトウェアプログラムを使用して過剰人工付属肢 1 1 5 を制御することができる。開発者は、それら過剰人工付属肢が所望の配置に到達するまで、Labviewに命令して過剰人工付属肢 1 1 5 を移動させることができる。次に、Labviewは、各所望の配置のための過剰人工付属肢 1 1 5 のメトリック（例えば、各関節の角度）だけでなく、開発者の手のメトリックも記録することができる。例えば、メトリックは、本明細書で説明する例示的なメトリックのいずれかを含んでもよいが、メトリックは、開発者の指の中で 1 9 の関節角度や、過剰人工付属肢 1 1 5 の 6 つの関節角度を含んでもよい。

【 0 0 4 8 】

手の所与の配置について、開発者は、過剰人工付属肢 1 1 5 の 1 又は複数の潜在的に所望する配置についてのデータを記録してもよい。例えば、図 1 4 に示されるように、開発者がボトルを把握する間に、過剰人工付属肢 1 1 5 は、二つ以上の位置からボトルを十分に支持することができる。開発者は、1 つの配置についてのデータを収集し、過剰人工付属肢 1 1 5 を別の補足的な配置に位置を変更し、この別の配置についてのデータを収集してもよい。別の例では、開発者は、サッカーボールの上部を把持し、開発者がボールを保持するのに役立つであろういくつかの位置に過剰人工付属肢 1 1 5 を配置することができる。開発者は、これらの配置における自分の手や過剰人工付属肢 1 1 5 の一部に関するメトリックを記録してもよい。別の例では、開発者は、フットボールの上部を把握し、開発者の保持を補助するように過剰人工付属肢 1 1 5 を配置し、メトリックを記録することができる。

【 0 0 4 9 】

いくつかの実施形態では、開発者は、さらなる分析のためにすべてのデータを保持してもよい。他の実施形態では、手の所与の配置について、開発者は、過剰人工付属肢 1 1 5 のデータを平均化して、その後の分析で使用されるデータ量を低減させてもよい。例えば、開発者は、この開発者が特定の作業を実行しているときに、過剰人工付属肢 1 1 5 の 5 つの潜在的な配置についてのデータを記録し、次にこのデータを平均化してもよい。開発者は、開発者の手の配置に関連して平均化したデータを保存して、収集した元データを破棄してもよい。

【 0 0 5 0 】

図 1 4 の例には、様々な物体を把持する開発者が示されているが、開発者が他の作業を行うときに、メトリックを収集してもよい。例えば、過剰人工付属肢 1 1 5 によって、作業で使用される物体の位置を固定してもよい。付属肢 1 1 5 は、開発者が穴をドリルで開ける場合に、ワークを所定の位置に固定するように圧力を適用することができる。いくつかの追加の例では、付属肢 1 1 5 は、開発者がドライバー又はレンチでネジやナットを固定する間に、そのネジやナットを所定の位置に保持し、開発者がそのふたを回して外す際に（広口）ピンのベースや本体を把持し、又は開発者がボトルキャップ取り外し器でそのキャップを取り外す際に、ボトルを把握することができる。開発者は、開発者がそのページをめくる間に、本を開いた状態に保持するように付属肢 1 1 5 を位置付けしてもよい。別の例では、開発者がスプーンでその内容物を攪拌する間に、この開発者は、底部から容器を保持するように付属肢 1 1 5 を位置付けしてもよい。付属肢 1 1 5 は、開発者がボックスを担持する間に、ボックスの異なる側面又は底面を支持してもよい。

【 0 0 5 1 】

このように、ユーザは、ユーザ自身の手に関して、過剰人工付属肢 1 1 5 の有用な、有利な配置に関するデータを取得することができる。

【 0 0 5 2 】

主成分分析（PCA）によって、手の一部の配置や過剰人工付属肢 1 1 5 の所望の配置との間に相互関係が存在することを明らかにすることができる。具体的には、収集されたデータの PCA によって、収集したデータ内の分散の主な原因となるような最も重要な分散を決定することができる。収集されたデータは、

10

20

30

40

【数 1】

$$\mathbf{X} = [\mathbf{x}^1, \dots, \mathbf{x}^N] \in \mathcal{R}^{r \times N}$$

のような行列 \mathbf{X} に入力することができる。

【0053】

10

ここで、 $\mathbf{x}^i = [x_1, \dots, x_r]^T$ は、手と過剰付属肢 115 との中心化された (mean-centered) 関節角度を表しており、 N は、収集されたデータセットの数に対応する。 \mathbf{X} の共分散の固有ベクトル (\mathbf{v}_i) 及び固有値 (λ_i) を用いて、次に、 $\mathbf{X}\mathbf{X}^T$ を、

【数 2】

$$\mathbf{X}\mathbf{X}^T \cong \lambda_1 \mathbf{v}_1 \mathbf{v}_1^T + \lambda_2 \mathbf{v}_2 \mathbf{v}_2^T + \dots + \lambda_s \mathbf{v}_s \mathbf{v}_s^T$$

20

によって近似することができる。

【0054】

ここで、 $s \leq r < N$ である。この近似の精度は、主成分によって占められるデータの分散の割合を表す。固有値を使用して、精度は、

【数 3】

$$\mu = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_s}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_r}$$

30

として表現することができる。

【0055】

図 15 には、収集された実験データに基づいて実行される主成分分析結果の一例が示されている。この分析は、実験で用いた配置について、過剰人工付属肢 115 の配置が、手の一部の配置と相関していることを実証している。この結果によって、過剰人工付属肢 115 及び手の動きが相互に関係していることが確認される。

【0056】

特に、図 15 には、最初の 6 つの主要成分のそれぞれについての μ が示されている。ユーザの手の 5 本の指及び 2 つの過剰人工付属肢 115 を一緒に考慮する場合に、2 つの主要成分は、位置データの分散の約 81.5% (例えば、第 1 の成分について 66.6%、第 2 成分について 14.9%) を占めている。別の言い方をすれば、2 つの自由度が、ユーザの手及び過剰人工付属肢 115 の実現可能な位置の 81.5% を占めている。第 1 成分は、5 本の指や、過剰人工付属肢 115、又はこれらの両方の一致する (in-phase) 運動に対応するが、第 2 成分は、5 本の指や、過剰人工付属肢 115、又はこれらの両方の不一致の (out-of-phase) 運動に対応している。

40

【0057】

さらに、PCA は、収集されたデータが、少数の分散を用いてモデル化することができるだけでなく、配置 (つまり、運動) の範囲を特定数の制御信号を使用して十分に表すこ

50

とができることを裏付ける。図 15 は、19 の指関節及び 6 つの過剰人工付属肢 115 の関節の主要因となるような収集された実験データに関連付けられており、それによって 25 の自由度がもたらされる。図 15 は、主成分の主要因である分散量が、3 つ目の自由度の後で大幅に減少することも実証している。このように、開発者は、2 つ又は 3 つの主成分に基づいて、人工付属肢 115 の機能モデル及び制御アルゴリズムを形成することができ、これにより 25 から 2 又は 3 に自由度の数を減らすことができる。図 15 は、4 番目の主成分を考慮することによって、機能にわずかな改善を提供するであろうことを明らかにする。

【0058】

この相互関係をモデル化するために、いくつかの実施形態では、収集されたデータは、2 つの別々の行列に最初に挿入され、一方は、ユーザの 5 本の指に関して収集されたデータを含み、他方は、過剰人工付属肢 115 に関して収集されたデータを含む。一方は、入力行列 X であり、他方は、出力行列 Y である。

【0059】

【数 4】

$$X = [x^1, \dots, x^N] \in \mathbb{R}^{m \times N}$$

10

20

【数 5】

$$Y = [y^1, \dots, y^N] \in \mathbb{R}^{m \times N}$$

【0060】

また、 $x^i = [x_1, \dots, x_n]^T$ は、ユーザの指の中心化された (mean-centered) 関節角度を表しており、ここで $y^i = [y_1, \dots, y_m]^T$ は、過剰人工付属肢 115 の中心化された関節角度に対応する。 n 及び m は、それぞれ、指及び人工付属肢 115 の自由度の数に対応し、 N は、収集されたデータセットの数に対応する。

30

【0061】

次に、入力及び出力空間での単位ベクトルは、入力単位ベクトルでの手の配置の投影と出力単位ベクトルでの過剰人工付属肢の投影との間の相関を最大化するように決定される。入力空間における単位ベクトルは

【数 6】

$$v \in \mathbb{R}^{n \times 1}$$

40

として表すことができる。

【0062】

入力空間での理論的な単位ベクトルへのユーザの手の配置の投影は、

【数 7】

$$z^i = v^T x^i$$

として表すことができる。

【0063】

出力空間での単位ベクトルは、

【数 8】

$$w \in \mathbb{R}^{m \times 1}$$

として表すことができる。

【0064】

さらに、出力空間における理論的な単位ベクトルでの過剰人工付属肢 1 1 5 の配置の投影は、

【数 9】

$$s^i = w^T y^i$$

として表すことができる。

【0065】

ユーザの手の配置と人工付属肢 1 1 5 との配置の間に最も強い相関を示すように入力及び出力ベクトルの方向を決定するために、以下の式は、

【数 10】

$$v^o, w^o = \arg \max_{\substack{v=1 \\ w=1}} \sum_{i=1}^N z^i s^i = \arg \max_{\substack{v=1 \\ w=1}} v^T X Y^T w$$

のように解かなければならない。

【0066】

より詳細には、 v^o は、行列 $X Y^T Y X^T$ の最大固有値に関連する単位固有ベクトルであり、 w^o は、行列 $Y X^T X Y^T$ の最大固有値に関連する単位固有ベクトルである。固有ベクトルのこのペアは、手及び人工付属肢 1 1 5 の配置を相関させるために最も重要な成分を与える。部分的な最小二乗 (PLS) 回帰式をこれらの式に適用することによって、重要性の高い順に、一連の単位ベクトルがもたらされる。上述したように、データ分散の大部分は最初の 3 つの主要成分を介して表現することができるので、開発者は、制御アルゴリズムのために 3 ペアの単位ベクトルを選択することができる。いくつかの実施形態で

10

20

30

40

50

は、制御アルゴリズムは、

$$y = A x$$

によって表すことができる。

【 0 0 6 7 】

ここで、Aは、部分的な最小二乗回帰によって得られた一連の単位ベクトルを含むような行列である。

【 0 0 6 8 】

主成分分析、及びその後の相互関係のモデル、つまり最終的に使用される付属肢の制御アルゴリズムは、ユーザ及び付属肢の関節角度に関して本明細書で説明したが、同様のステップを、本明細書で説明した他のメトリックを適用してもよい。例えば、開発者は、ユーザの手の速度、ユーザの指関節に作用するトルク、及び付属肢の関節によって加えられる所望のトルクを含むデータを収集してもよい。このように、開発者は、付属肢の関節角度だけでなく、各関節によって加えられるトルクを整えるような制御アルゴリズムを形成してもよい。本明細書で説明する方法は、ユーザの手及び人工付属肢の任意の他のメトリックを考慮するように拡張することができる。

【 0 0 6 9 】

図16には、過剰人工付属肢115の制御アルゴリズム、本明細書で説明したステップを使用して決定した制御アルゴリズムの精度を示すデータが表されている。円形のデータ点によって実証されるように、部分的な最小二乗回帰を介して形成された3つの主成分を利用する制御アルゴリズムについて、実験データを収集する間に観測された人工付属肢115の位置は、このアルゴリズムが付属肢115に適用された場合に取得された位置と実質的に一致する。

【 0 0 7 0 】

図17には、図1で説明した装置を使用する方法の例示的なフロー図が示されている。まず、この方法は、位置センサからの出力信号を受信する。ここで、各出力信号は、人間の手の異なる部分の姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つを示す(ステップ1701)。出力信号は、指、掌、又は手首の位置、及び/又は指の関節や手首の関節等の手の関節の角度を示すことができる。出力信号は、親指の内向き分回し運動、指の外転、又は関節(例えば、中手指節、指節間)の曲がりを示すことができる。

【 0 0 7 1 】

この方法は、位置センサからの出力信号に基づいて過剰人工付属肢についての姿勢や、位置、速度、加速度、力、及びトルクのうちの少なくとも1つを決定することもできる(ステップ1702)。例えば、本方法は、本明細書で説明したステップのいずれかで形成された制御アルゴリズムを適用してもよい。本方法は、少なくとも1つの制御信号を送信して、過剰人工付属肢を配置する(ステップ1703)。この制御信号によって、アクチュエータ118を作動させ、付属肢、又は付属肢のセクションを位置付けする。

【 0 0 7 2 】

様々な実施形態を、人間の手や腕に連結できるような過剰人工指を参考に本明細書で説明してきたが、人工付属肢は、人間の身体の他の部分に結合することができる。いくつかの実施形態では、付属肢は、さらに人体から取り外してもよい。例えば、付属肢は、ユーザから遠隔に位置付けしてもよい。これらの実施形態では、付属肢の制御アルゴリズムを開発するためのデータを取得するために、開発者は、自分の手を位置付けすることができる、作業において開発者を補助するような態様で過剰人工付属肢115を位置決めし、すべてのメトリックを記録することができる。例えば、開発者は、構造機器等の機械を制御するために、人工付属肢を作動させるためのデータを収集してもよい。データのセットを取得するために、開発者は、自分の手を配置し、構造機器に対して人工付属肢を配置し、本明細書で説明するようなメトリックを収集する。このようにして、手のユーザの挙動及び関連する人工付属肢の挙動に関するデータを収集することにより、開発者は、構造機器を遠隔で作動させるための制御アルゴリズムを形成することができる。さらに工業的な実施

10

20

30

40

50

形態が、企図され、それは本開示の範囲内に含まれる。開発者は、本明細書で説明される方法によって、主成分分析及び部分的な最小二乗回帰に従って、制御アルゴリズムを形成することができる。

【0073】

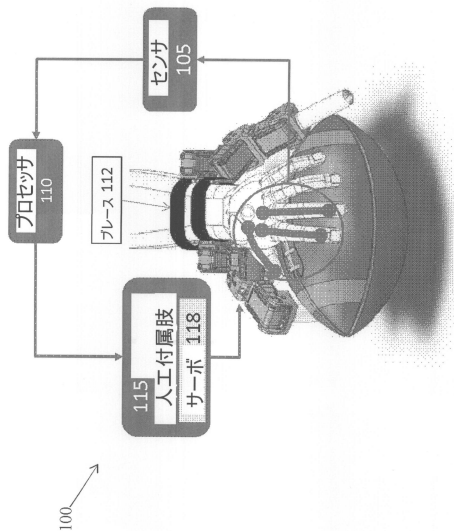
本発明の様々な実施形態は、この段落以下（及びこの出願の最後に提供される実際の特許請求の範囲より前）の段落に列挙されている潜在的な請求項によって特徴付けることができる。これらの潜在的な請求項は、この出願の詳細な説明の一部を形成する。従って、以下の潜在的な特許請求の範囲の主題は、本出願又は本出願に基づいて優先権を主張する出願を含む、後の手続きにおける実際の特許請求の範囲として提示することができる。このような潜在的な特許請求の範囲の包含は、実際の特許請求の範囲が、潜在的な特許請求の範囲の主題を網羅しないものであると意味するように解釈すべきではない。こうして、後の手続においてこれら潜在的な特許請求の範囲が存在していないと決定することによって、公衆に対して主題の寄贈が行われているものとして解釈すべきではない。

10

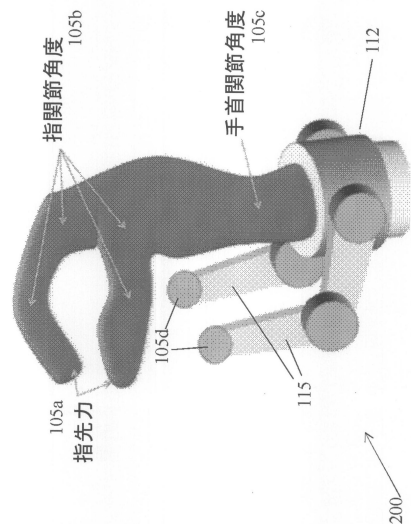
【0074】

上述した本発明の実施形態は、単なる例示であることを意図している。多くの変形及び修正は、当業者には明らかだろう。このような変形及び変更の全ては、添付の特許請求の範囲に規定されるように本発明の範囲内にいることが意図される。

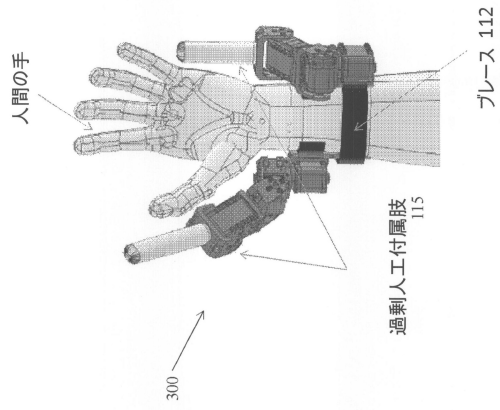
【図1】



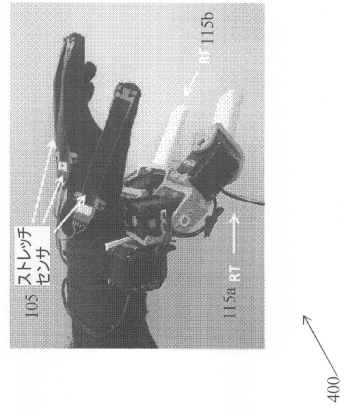
【図2】



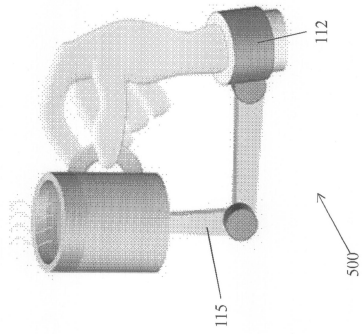
【図3】



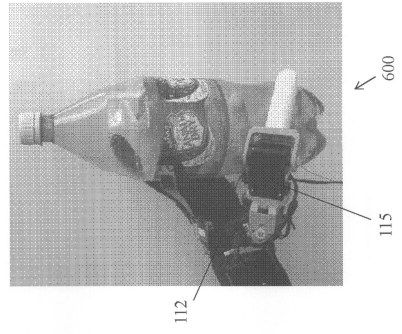
【図4】



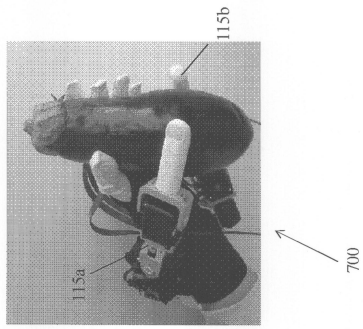
【図5】



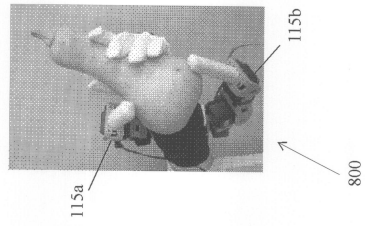
【図6】



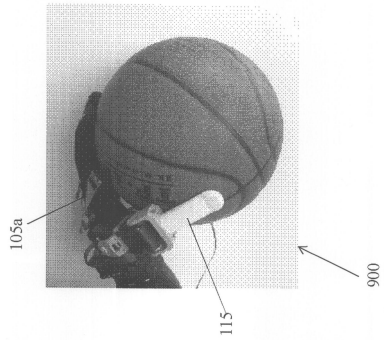
【 図 7 】



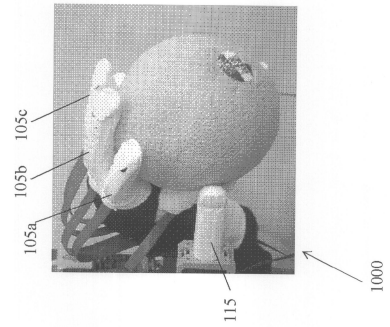
【 図 8 】



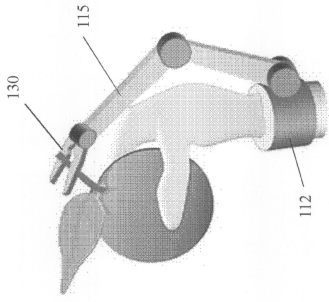
【 図 9 】



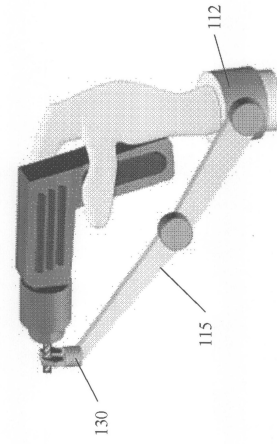
【 図 10 】



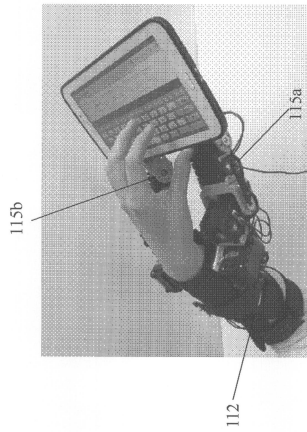
【図 1 1】



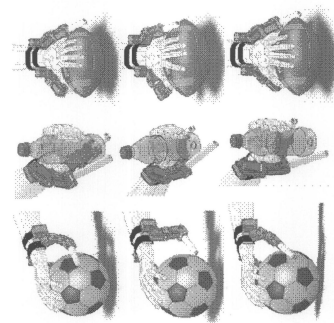
【図 1 2】



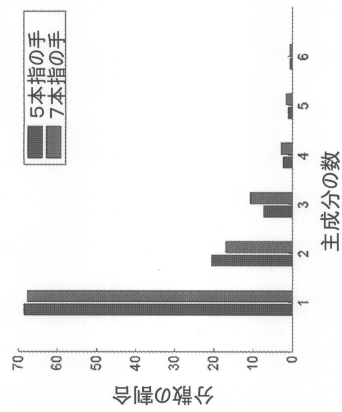
【図 1 3】



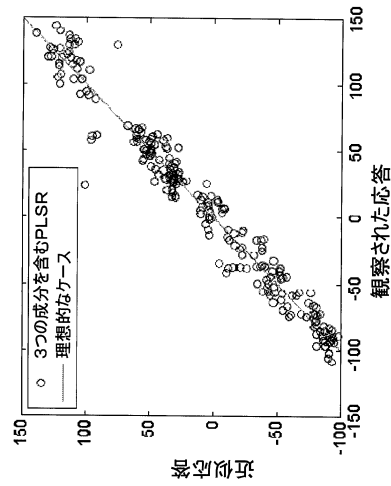
【図 1 4】



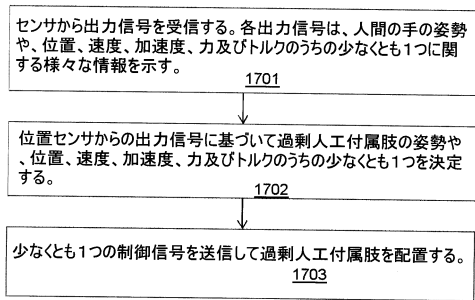
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

- (72)発明者 ハルヒコ ハリー アサダ
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01773 リンカン オールド カウンティ ロード 1
 47
- (72)発明者 フェイ ウ
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02138 ケンブリッジ エレリー・ストリート 12
 アパートメント 506

審査官 宮崎 敏長

- (56)参考文献 国際公開第2012/154580(WO, A1)
 米国特許出願公開第2007/0059124(US, A1)
 Stelarc, Prosthetics, Robotics and Remote Existence: Postevolutionary Strategies, Leonardo, 英国, Pergamon Press plc., 1991年, Vol24, No.5, p.591-595

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 6 1 F	2 / 4 8		
A 6 1 F	2 / 5 4	-	A 6 1 F 2 / 5 8
A 6 1 F	2 / 6 8	-	A 6 1 F 2 / 7 4
B 2 5 J	3 / 0 0	-	B 2 5 J 3 / 0 4
B 2 5 J	9 / 0 6	-	B 2 5 J 9 / 0 8
B 2 5 J	1 3 / 0 2		