

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-535870

(P2004-535870A)

(43) 公表日 平成16年12月2日(2004.12.2)

(51) Int.Cl.⁷

A61B 19/00

G05B 13/04

G05D 3/12

F I

A61B 19/00

G05B 13/04

G05D 3/12

502

N

テーマコード (参考)

5H004

5H303

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 81 頁)

(21) 出願番号 特願2003-514348 (P2003-514348)
 (86) (22) 出願日 平成14年7月16日 (2002.7.16)
 (85) 翻訳文提出日 平成16年1月8日 (2004.1.8)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/022750
 (87) 国際公開番号 W02003/009069
 (87) 国際公開日 平成15年1月30日 (2003.1.30)
 (31) 優先権主張番号 60/305,957
 (32) 優先日 平成13年7月16日 (2001.7.16)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 10/196,563
 (32) 優先日 平成14年7月15日 (2002.7.15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500390995
 イマージョン コーポレーション
 IMMERSION CORPORATI
 ON
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
 131 サンノゼ フォックス レーン
 801
 (74) 代理人 100074332
 弁理士 藤本 昇
 (74) 代理人 100114421
 弁理士 薬丸 誠一
 (74) 代理人 100114432
 弁理士 中谷 寛昭
 (74) 代理人 100117204
 弁理士 岩田 徳哉

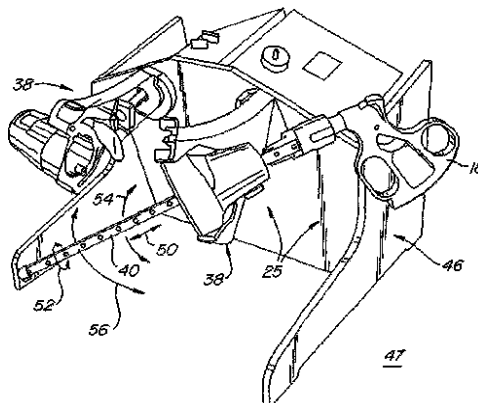
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ケーブル駆動による力フィードバックを有するインタフェース装置及び4個の接地されたアクチュエータ

(57) 【要約】

【課題】 ユーザに触感（触覚）フィードバックを与えることにより、シミュレーションシステム内で現実的感覚を与えるシステムを提供することを課題とする。

【解決手段】 前記システムは、ユーザが連係する連係可能な訓練ツールと、前記訓練ツールに連結された機械的シミュレーション装置とを備える。該機械的シミュレーション装置は、接地部材46、前記接地部材46に回転可能に連結された連結機構38、前記訓練ツール及び連結機構38に連結された直線状軸部材、前記接地部材に連結された少なくとも4個のアクチュエータ62、64、66、70、各アクチュエータの動きを検知する複数のセンサ65、67、69、及び、前記少なくとも4つの（アクチュエータ）62、64、66、70に接続され、前記連結機構38に連結された少なくとも3本のケーブルを備えている。インタフェース装置が、前記シミュレーション装置に連結され、ホストコンピュータ20が、アプリケーションプログラムを実行するために前記インタフェース装置14に連結している。前記アプリケーションプログラムは、前記複数のアクチュエータ62



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

抵抗感を与えることによって現実的な感覚をユーザに与えるシステムであって、該システムは、
ユーザが連係する連係可能な訓練器具と、
前記訓練器具に連結した連結機構を備える機械的シミュレーション装置と、
前記シミュレーション装置に連結したインタフェース装置と、
アプリケーションプログラムを実行するべく前記インタフェース装置に接続されたホストコンピュータとを備え、
前記アプリケーションプログラムは、前記連結機構を動かすべくアクチュエータに信号を送信していることを特徴とするシステム。 10

【請求項 2】

前記訓練器具は、現実の医療器具として構成されている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記インタフェース装置は、前記ホストコンピュータ及び機械的シミュレーション装置の内の 1 つに設けられている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記インタフェース装置は、前記ホストコンピュータ及び機械的シミュレーション装置と別体化されている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記インタフェース装置は、前記機械的シミュレーション装置に対してローカルなマイクロプロセッサを備えている請求項 1 に記載のシステム。 20

【請求項 6】

前記機械的シミュレーション装置と前記ユーザとを遮断する障壁を更に備えている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記訓練器具が腹腔鏡下手術装置として構成され、套管針を備えている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記訓練器具が、カテーテル、皮下注射器、ワイヤ、光ファイバ束、スタイラス、ジョイスティック、スクリュードライバー、プールキュー、及び握りグリップからなる群の 1 つとして構成されている請求項 1 に記載のシステム。 30

【請求項 9】

複数の訓練器具を備えている請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記機械的シミュレーション装置が、
接地部材と、
前記接地部材に連結した連結機構と、
前記訓練器具及び連結機構に連結した直線状軸部材と、
前記接地部材に連結した少なくとも 1 個のアクチュエータと、
前記少なくとも 1 個のアクチュエータに連係していると共に前記連結機構と連結したケーブルとを備えている請求項 1 に記載のシステム。 40

【請求項 11】

少なくとも 4 個のアクチュエータを備えている請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記少なくとも 4 個のアクチュエータが DC (直流) モータを備えている請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記少なくとも 4 個のアクチュエータと多様に連係している少なくとも 3 本のケーブルを備えている請求項 11 に記載のシステム。 50

【請求項 14】

前記少なくとも 1 個のアクチュエータの少なくとも 1 個及び連結機構の内の少なくとも 1 個の動きを検知する少なくとも 1 個のセンサを更に備えている請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記少なくとも 4 個のアクチュエータの少なくとも 1 個及び連結機構の動きを検知する少なくとも 4 個のセンサを更に備えている請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 16】

抵抗感を与えることによって現実的な感覚をユーザに与えるシステムであって、該システムは、

10

前記ユーザが連係する連係可能な訓練器具と、

前記訓練器具に連結された機械的シミュレーション装置とを備え、該機械的シミュレーション装置は、

接地部材と、

前記接地部材に回転可能に連結した連結機構と、

前記訓練器具及び連結機構に連結した直線状軸部材と、

前記接地部材に連結した少なくとも 4 個のアクチュエータと、

前記アクチュエータの少なくとも 1 個及び連結機構の動きを検知する少なくとも 1 個のセンサと、

前記少なくとも 4 個のアクチュエータと接続されると共に前記連結機構に連結された少なくとも 3 本のケーブルと、

20

前記シミュレーション装置に連結したインタフェース装置と、

アプリケーションプログラムを実行するべく前記インタフェース装置に連結したホストコンピュータとを備え、前記アプリケーションプログラムは、前記ケーブルを動かし、それにより、前記連結機構を動かすべく前記アクチュエータに信号を送信することを特徴とするシステム。

【請求項 17】

前記訓練器具は、現実の医療器具として構成されている請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 18】

前記インタフェース装置は、前記ホストコンピュータ及び機械的シミュレーション装置の内の一つに設けられている請求項 16 に記載のシステム。

30

【請求項 19】

前記インタフェース装置は、前記ホストコンピュータ及び機械的シミュレーション装置と別体化されている請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 20】

前記少なくとも 4 個のアクチュエータが直流モータを備えている請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 21】

前記インタフェース装置は、前記機械的シミュレーション装置に対してローカルなマイクロプロセッサを備えている請求項 16 に記載のシステム。

40

【請求項 22】

前記機械的シミュレーション装置と前記ユーザとを遮断する障壁を更に備えている請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 23】

前記訓練器具が腹腔鏡下手術器具として構成され、套管針を備えている請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 24】

前記訓練器具が、カテーテル、皮下注射器、ワイヤ、光ファイバ束、スタイラス、ジョイスティック、スクリュードライバー、プールキュー、及び握りグリップからなる群の 1 つとして構成されている請求項 16 に記載のシステム。

50

【請求項 25】

複数の訓練器具を備えている請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 26】

抵抗感を与えることによって現実的な感覚をユーザに与える方法であって、該方法は、連結機構、少なくとも 1 個のアクチュエータ、前記少なくとも 1 個のアクチュエータに連係していると共に前記連結機構と連結された少なくとも 1 本のケーブル、及びセンサを備える機械的シミュレーション装置に連結された訓練器具を用意する過程と、前記器具を前記ユーザに連係させる過程と、前記ユーザが前記訓練器具に力を加える過程と、前記センサが前記器具の位置を検知する過程と、前記検知した位置をアプリケーションプログラムを有するホストコンピュータに送信する過程と、前記少なくとも 1 本のケーブルを動かし、それにより、連結機構を動かす信号を前記ホストコンピュータから前記少なくとも 1 個のアクチュエータに送信する過程とを備え、前記信号は、前記検知された位置及び前記アプリケーションプログラムに基づいていることを特徴とする方法。

10

【請求項 27】

前記機械的シミュレーション装置が、少なくとも 4 個のアクチュエータと、前記少なくとも 4 個のアクチュエータと多様に連係していると共に前記連結機構に連結された少なくとも 3 本のケーブルとを備え、前記信号は、前記少なくとも 3 本のケーブルの内の少なくとも 1 本を動かし、それにより、前記連結機構を動かすべく、前記ホストコンピュータから前記少なくとも 4 個のアクチュエータの内の少なくとも 1 個に向けて送信されるものであり、該信号は、前記検知された位置及び前記アプリケーションプログラムに基づいている請求項 26 に記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、広くは人間とコンピュータとの間のインタフェース装置に関し、より詳しくは、ユーザに力フィードバックを与えるインタフェース装置に関する。

【背景技術】

30

【0002】

バーチャルリアリティ（仮想現実）コンピュータ・システムは、ユーザに「仮想」環境の一部であるという幻想を抱かせるものである。一のバーチャルリアリティシステムは、一般に、コンピュータプロセッサ、バーチャルリアリティソフトウェア、及び、頭部装着型表示装置、センサ手袋、三次元（「3D」）のポインタ等のバーチャルリアリティ入出力装置を備えている。

【0003】

バーチャルリアリティコンピュータ・システムは、訓練に使用され得るものである。航空や、自動車や、システム・オペレーション等の多くの分野では、バーチャルリアリティシステムを用いることによって、ユーザが現実的な「仮想」の環境から会得し、該環境を体験することに成果を収めている。訓練にバーチャルリアリティコンピュータ・システムを活用することの利点は、かかるシステムが、高度に現実化された環境において被訓練者に確信をもって操作させ、且つ、その結果、「現実世界」において誤らせない性能を有していることに一部関係している。例えば、バーチャルリアリティコンピュータ・システムにより、研修医、又は、その他のオペレータ、又は、ユーザが、外科用メスを「巧みに操作する」か、又は、コンピュータによりシミュレートされた「身体」の内部を検診し、その結果、現実の患者に医療処置を施すことが挙げられる。この例においては、一般に、3次元ポインタ、スタイラス、又は同様のものである入出力装置は、外科用メスや探り針等の手術器具に代えて使用される。「外科用メス」又は「探り針」が与えられた空間又は構造物の内部で移動するとき、そのような移動の結果は、コンピュータシステムのスクリーン

40

50

に表示される身体画像内で更新され表示される。その結果、オペレータは、実際の人又は死体で訓練することなく、かかる操作を実行している体験を得るのである。その他のアプリケーションでは、バーチャルリアリティコンピュータ・システムによって、ユーザは、娯楽目的及び／又は訓練のために複雑且つ高価な自動車や機械の制御機器の操作部を手繰り、操作することができる。

【0004】

現実的な（それ故、効果的な）体験をユーザに与えるバーチャルリアリティシステムによって、感覚的なフィードバックと手動的インタラクションは、可能な限り、自然であることが必要となる。ユーザの手動的動作を検知し、追跡すること、及び、その情報を３次元に視覚化してユーザに与えるべく制御中のコンピュータに供給することに加え、ヒューマンインタフェースメカニズムは、力又は（「触覚」）フィードバックをユーザに与えるべきである。ユーザが現実の触覚情報を得ることは、多数の種類のシミュレーション（模擬実験）やその他の応用において、広範囲に必要とされている。例えば、医療／外科手術のシミュレーションにおいて、シミュレート（模擬）された身体の内部で探り針又はメスシミュレータを動かすときの「感覚」は重要である。研修医にとっては、身体の内部でどのように器具が動くか、手術を行うために如何程の力が必要となるか、器具を巧く操作するために身体に確保されているスペース等を学びとることは計り知れない程重要である。その他の応用アプリケーションでは、触覚フィードバックによって与えられる現実感の恩恵が同様に得られることとなる。「高帯域」インタフェース・システム、即ち、速い変化と広範囲な周波数を有する信号に正確に応答すると共にそのような信号を制御システムに正確に送信するインタフェースは、それ故に、それら及びその他の応用において望ましいものとなるのである。

10

20

【0005】

いくつかの既存の装置には、器具又は操作可能な物体の運動に複数の自由度の動きを与え、触覚フィードバックを備えているものがある。これらの装置の多くが、しかしながら、力が与えられる自由度の数において制限があり、更に、特定のアプリケーションに望まれている正確さと現実感に欠けている。医療及びその他のバーチャルシミュレーション応用においては、リーズナブルな価格でありながら、より大きな現実感を有する装置が望まれている。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、抵抗感を与えることで現実的な感覚をユーザに与えるためのシステムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本システムは、ユーザが連係する連係可能な訓練器具を備えている。機械的シミュレーション装置が前記訓練器具に連結され、インタフェース装置が前記シミュレーション装置に連結している。ホストコンピュータが、アプリケーション（応用）プログラムを実行するべく前記インタフェース装置に連結している。前記アプリケーションプログラムは、前記訓練器具の検知された位置に基づいて前記訓練器具に抵抗感を与えるべく、機械的シミュレーション装置に信号を送信する。

40

【0008】

本発明の一態様においては、前記訓練器具は、実際の医療器具として構成されている。

【0009】

本発明の別の態様においては、前記インタフェース装置は、ホストコンピュータ内に設けられている。

【0010】

本発明の更に別の態様においては、前記インタフェース装置は、ホストコンピュータと別体化されている。

50

【 0 0 1 1 】

本発明の更にまた別の態様においては、前記インタフェース装置は、前記機械的シミュレーション装置に対してローカルなマイクロプロセッサを備えている。

【 0 0 1 2 】

本発明の更に別の態様においては、前記システムは、前記機械的シミュレーション装置と前記ユーザとを遮断する障壁を備えている。

【 0 0 1 3 】

本発明の別の態様においては、前記訓練器具は、腹腔鏡下手術器具として構成され、套管針 (trocar) を備えている。

【 0 0 1 4 】

本発明の更に別の態様においては、前記訓練器具は、カテーテル、皮下注射器、ワイヤ、光ファイバ束、スタイラス、ジョイスティック、スクリュードライバー、プールキュー (pool queue) 、及び握りグリップからなる群の 1 つとして構成されている。

【 0 0 1 5 】

本発明の更にまた別の態様においては、前記システムは、複数の訓練器具を備えている。

【 0 0 1 6 】

本発明の一態様においては、前記機械的シミュレーション装置は、接地部材、該接地部材に連結した連結機構、前記訓練器具及び連結機構に連結した直線状軸部材、前記接地部材に連結した少なくとも 1 個のアクチュエータ、及び前記少なくとも 1 個のアクチュエータに連係していると共に前記連結機構に連結したケーブルを備えている。

【 0 0 1 7 】

本発明の別の態様によれば、前記システムは、少なくとも 4 個のアクチュエータを備えている。

【 0 0 1 8 】

本発明の更に別の態様によれば、前記アクチュエータは、直流モータを備えている。

【 0 0 1 9 】

本発明の更にまた別の態様によれば、前記システムは、前記 4 個のアクチュエータと多様に連係している少なくとも 3 本のケーブルを備えている。

【 0 0 2 0 】

本発明の更なる態様においては、前記アクチュエータ及び / 又は連結機構の動きを検知する少なくとも 1 個のセンサを備えている。

【 0 0 2 1 】

本発明は、抵抗感を与えることによって現実的な感覚をユーザに与える方法をも提供するものである。該方法は、連結機構、少なくとも 1 個のアクチュエータ、前記少なくとも 1 個のアクチュエータに連係していると共に前記連結機構と連結された少なくとも 1 本のケーブル、及びセンサを備える機械的シミュレーション装置に連結された連係可能な訓練器具を用意する過程を備えている。前記方法は、前記器具を前記ユーザに連係させ、前記ユーザが前記訓練器具に力を加える過程を更に備えている。前記器具の位置は前記センサにより検知される。前記検知された位置は、アプリケーション (応用) プログラムを有するホストコンピュータに送信され、そして、前記少なくとも 1 本のケーブルを動かし、それにより、前記連結機構を動かすべく、前記ホストコンピュータから前記少なくとも 1 個のアクチュエータに向けて信号が送信される。前記信号は、前記検知された位置及びアプリケーションプログラムに基づいている。

【 0 0 2 2 】

本発明のその他の特徴及び利点は、同じ部材に同じ数字を付している図面を参酌しつつ、以下に見出される、好ましく、優れた実施形態を読み、把握することにより理解されるであろう。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 3 】

図 1 に、医療シミュレーション (模擬訓練) 用途に本発明が用いられている一例を図示す

10

20

30

40

50

る。バーチャルリアリティ（仮想現実）システム１０が、ヒューマン（人間）／コンピュータ・インタフェース装置１２、電子インタフェース１４、及びホストコンピュータ１６を備える医療処置をシミュレート（模擬）するべく使用されている。図示されたバーチャルリアリティシステム１０は、腹腔鏡下手術のバーチャルリアリティ・シミュレーションを目的とするものである。

【００２４】

本発明に係る腹腔鏡下手術器具１８のハンドル２６が、オペレータにより操作されており、仮想現実画像が、かかる操作にตอบสนองするデジタル処理システムにおける画面装置２０上に表示されている。例えば、前記器具１８がユーザによって動かされるとき、例えば、前記器具又はその一部の表示画像が、装置２０上に表示されているグラフィック（画像）環境の内部でそれに対応して動かされ得る。前記画面装置２０は、標準の画面スクリーン若しくはＣＲＴ、３次元ゴーグル、又はいかなる他の視覚インタフェースであっても良い。前記デジタル処理システムは、一般に、ホストコンピュータ１６である。前記ホストコンピュータは、パーソナルコンピュータ、ワークステーション、又はその他のコンピュータ装置、或いは、プロセッサ、具体的には、一般にテレビに接続される家庭用ゲーム機システム等等であっても良く、具体的には、任天堂、セガ、又はソニー製のシステム、例えば、対話型のテレビを提供するべく用いられる「セットトップボックス」、アーケードゲーム、

携帯用コンピュータ装置等であっても良い。複数の器具１８は、それぞれがユーザにより操作可能であるが、下記する好ましい形態のように設けられていても良い。

【００２５】

ホストコンピュータ１６は、ユーザが周辺機器及びインタフェース装置１４を介してインタラクト（相互作用）しているホストアプリケーションプログラムを実行する。例えば、前記ホストアプリケーションプログラムは、フォースフィードバックを利用するテレビゲーム、医療シミュレーション、科学的分析プログラム、更にはオペレーティングシステム又は他のアプリケーションプログラムであり得る。一般に、前記アプリケーションは、後述するように、画面出力装置上に表示するイメージを創り出すか、及び／又は、可聴信号等のその他のフィードバックを出力する。図１の医療シミュレーションの実例では、ホスト医療シミュレーション・アプリケーションプログラムが含まれている。そのようなアプリケーションに使用できるソフトウェアは、カリフォルニア州サンノゼのイマージョン社から購入できる。その代わりに、画面スクリーン２０は、ゲームアプリケーションプログラムからの又はその他のプログラムからの画像を表示することもできる。

【００２６】

ここに図示しているヒューマン／インタフェース装置１２の一例は、腹腔鏡下の医療処置をシミュレートしているものである。標準的な腹腔鏡下手術器具１８のハンドルに加えて、ヒューマン／インタフェース装置１２は、障壁２２及び標準的な腹腔鏡下手術用の套管針２４（又は、套管針の模倣物）を備えていても良い。前記障壁２２は、患者の身体を被う皮膚の一部を表現するために使用される。套管針２４が仮想患者の身体に挿入されることにより、仮想患者の身体の挿入点及び仮想患者の身体からの摘出点を腹腔鏡下手術器具１８に提供しており、それにより腹腔鏡下手術器具の操作が容易化されている。他の形態においては、障壁２２及び套管針２４は、装置１２から必要に応じて省略することができる。好ましくは、腹腔鏡下手術器具１８は、変更可能である。即ち、一の形態においては、後述するように、シャフトの代わりに直線状軸部材を用いても良い。他の形態では、前記器具のシャフトの端部（例えば、先鋭端部）は、取り外しても良い。腹腔鏡下手術器具１８の末端部は、バーチャルリアリティ・シミュレーションに必ずしも必要とされない。

【００２７】

前記腹腔鏡下手術器具１８は、ハンドル又は「グリップ」部分２６及びシャフト部分２８を備えている。前記シャフト部分は、後に詳述するように、長尺の機構物である。一の形態では、本発明は、例えば、３次元空間、例えば、４つの自由度におけるシャフト部２８の動きの追跡に関する。前記シャフト２８は、その長手方向に沿った数箇所で束縛され、

10

20

30

40

50

それにより、シミュレートされた患者の身体の内側で、４つの自由度で移動することができる。

【００２８】

機械的入出力をインタフェースするための機械装置２５が、患者の「身体」内に破線で示されている。インタラクション（相互作用）がコンピュータ上でシミュレートされる時、該コンピュータはフィードバック信号を前記器具１８及び機械装置２５に送信する。それは、コンピュータ画面装置上に表示される表面又は機能に関連付けられた仮想の腹腔鏡下手術器具の位置に反応して力を発生するアクチュエータを有している。機械装置２５については、以下にさらに詳細に説明する。複数の信号が、後述するインタフェース７２と類似するインタフェース３０を介して器具２５との間で送受信されても良い。

10

【００２９】

本発明の一の形態は、前記腹腔鏡下手術器具１８を参照しながら説明されるが、本発明の方法及び器具は、その他のより多くの種類の物体にも好適に用いられ得るものである。実際のところ、本発明は１乃至６つの自由度のヒューマン／コンピュータ・インタフェースを提供することが望まれる如何なる機械的物体にも用いられ得るものである。そのような物体には、医療処置に用いられる内部透視又はその他の同様な外科手術用の器具、カテーテル、皮下注射器、ワイヤ、光ファイバ束、スタイラス、ジョイスティック、スクリュードライバー、プルキュー、握りグリップ等が含まれ得る。

【００３０】

前記電子インタフェース１４は、前記ヒューマン／コンピュータ・インタフェース装置１２の構成部品であり、前記装置１２を前記ホストコンピュータ１６に接続させ得るものである。電子インタフェース１４は、ホストコンピュータ１６内に設けられていても、機械装置２５のハウジング内に設けられていても、又は、別体の構成ユニットとして設けられていても良い。より詳細には、インタフェース１４は、好ましい形態において、器具２５（詳細に後述する。）の多様なアクチュエータ及びセンサをコンピュータ１６に接続させるために用いられる。ある形態では、前記インタフェースは、センサのデータ及びアクチュエータ制御機器を操作するべく前記器具２５に対してローカルなマイクロプロセッサを備え得るものである。適当な電子配置については、例えば、米国特許第５，６２３，５８２号、５，８２１，９２０号、５，７３１，８０４号、５，７３４，３７３号、５，８２８，１９７号、及び、６，０２４，５７６号明細書に記載されており、これらの全ては、

20

30

【００３１】

複数の信号が、インタフェース１４及びコンピュータ１６との間で、標準インタフェース３２（ＲＳ ２３２、ＵＳＢ、ファイヤワイヤ（商標）、シリアル、パラレル等）によって、又は無線送受信装置によって送受信され得る。本発明の多様な形態においては、インタフェース１４は、コンピュータ１６のための入力装置のみとして、コンピュータ１６用の出力装置のみとして、又は、コンピュータ１６のための入／出力（Ｉ／Ｏ）装置として機能させることができる。前記インタフェース１４は、装置１２に関連付けられているその他の入力装置又は操作具から入力を受け、該入力をコンピュータ１６に中継しても良い。例えば、装置１２上のボタンを押圧することでユーザにより送信された指令は、指令の一つを実行するべくコンピュータ１６に中継されるか、又は、前記コンピュータ１６により指令の一つを装置１２に出力させることができる。

40

【００３２】

図２Ａ及び２Ｂに、本発明に係る、機械的入出力を与える機械装置２５の斜視図を示す。装置２５は、２個以上の器具１８（１個のみ図示されている）を備えていても良く、これにより、ユーザが腹腔鏡下手術器具を用いて実際の外科手術を現実の如くシミュレートすることが可能となる。本発明においては、ユーザが各器具１８を個別に巧みに操作することができ、そこでは、各器具は個別に検知され、動作させられる。

【００３３】

各器具１８は、後に詳述する連結機構３８に連結された直線状軸部材４０に連結している

50

。例えばハンドル等であるユーザ物体 44 は、直線状軸部材 40 に連結していることが好ましい。前記連結機構は、底部構造体 46 を介して接地されている。例えば直流モータ等である複数の前記アクチュエータは、各直線状軸部材 40 及び器具 18 に力を出力するものであり、本実施形態においては、底部構造体 46 内に配置されているため、全てが接地されている。かかる構成によって、高忠実且つ効率的な触覚フィードバックが装置 25 で作成されるようになる。複数のアクチュエータは、各アクチュエータの回転を検知するセンサを備えることもでき、そして、その結果、4つの自由度の前記器具の動きを検出する。他の形態では、各センサは、前記器具の動きをより直接的に検知するべく前記連結機構 38 の部品に連結させても良い。

【0034】

10

本実施形態においては、各直線状軸部材 40 / 器具 18 は、図示する、挿入の自由度 50、捩れ自由度 52、第 1 の回転（左右揺動）54、及び第 2 の回転（上下揺動）56 の 4 つの自由度で動かすことができる。他の形態では、自由度はより少ない数に制限しても良く、或いは、付加することもできる。

【0035】

図 2C 及び 2D は、底部構造体 46、及び、回転可能に底部構造体に連結した連結機構 38 の一部を更に図示するものである。

【0036】

図 2E は、本実施形態におけるアクチュエータの多く及びセンサのいくつかを見せている装置 25 の背面図である。例えば、直流モータ等であるロータリーアクチュエータ 62 は、挿入の自由度 50 に駆動し、ロータリーアクチュエータ 64 は、左右揺動の自由度 54 に駆動し、及び、アクチュエータ 64 の背後に置かれたロータリーアクチュエータ 66（図 2E 参照）は、捩れの自由度 52 に駆動する。アクチュエータとセンサとのペア 70 は、上下揺動の自由度 56 に駆動する。

20

【0037】

図 2F は、前記装置 25 の頂面を図示するものであり、図 2G は、前記装置の頂面の拡大図である。プーリー 72 が、アクチュエータ 62 に連結されており、その周りに巻き掛けられたケーブル 160 を有している。プーリー 74 が、アクチュエータ 64 に連結されており、その周りに巻き掛けられたケーブル 106 を有している。プーリー 76 が、アクチュエータ 66 に連結されており、その周りに巻き掛けられたケーブル 130 を有している。これらケーブルについては、以下により詳細に説明する。各ケーブルの全ては、底部構造体の側部の隙間 77 を通って連結機構 38 に至っている。本実施形態では、各ケーブルは、それぞれの中心軸 78 の周りに巻き掛けられた後、対応するプーリー 72、74、又は、76 に至っている。本実施形態では、センサ 65 がアクチュエータ 64 のシャフトの動きを検知し、センサ 67 がアクチュエータ 62 のシャフトに接続された軸 78 の動きを検知し、そして、センサ 69 がアクチュエータ 66 のシャフトの動きを検知する。各センサは、図示するように、エミッタ及びディテクタを有し、プーリー又はスピンドルに連結されたエンコーダホイール上のマークを検知する光学エンコーダである。本実施形態では、前記上下揺動 56 を検知するセンサは、アクチュエータシャフトの回転を直接測定するべくアクチュエータ / センサ 70 のハウジング上に設けられている。

30

40

【0038】

前記システムのための変換器（トランスデューサ）として実質的に機能するセンサ及びアクチュエータの他の種類のものとしては、アナログ電位差計（アナログポテンシオメータ）、ポヒマス（Polhemus）（磁気）センサ、横方向効果（lateral effect）フォトダイオード等が挙げられ、他の形態で用いることができる。その代わりに、各センサは、機械装置 25 の相対運動部又は連結部におけるその他の位置に配置することができる。本発明に絶対及び相対センサの両者を使用し得ることは特筆すべきことである。各アクチュエータには、また、能動的アクチュエータ、及び / 又は、受動的アクチュエータ等の多様な種類のものが使用できる。能動的アクチュエータには、直流制御モータ、ステッピングモータ、空気圧 / 流体圧の能動的アクチュエータ、ステッピングモータ、ブラシレス直流モータ、

50

タ、空気圧／流体圧のアクチュエータ、トルカ（torquer）（限られた角度範囲で回転するモータ）、ボイスコイル、及び、その他の種類の、物体を動かすべく力を伝達するアクチュエータが含まれ得る。また、受動的アクチュエータを使用することもできる。磁性粒子ブレーキ、摩擦ブレーキ、又は、空気圧／流体圧の受動的アクチュエータを、モータに追加して、又は、モータに代えて１つの度合の動きにおけるダンピング抵抗又は摩擦を発生するべく使用することができる。加えて、ある形態においては、受動的（又は「粘性の」）制動部材を、前記システムからエネルギーを除去し、機械的システムの動的安定性を意図的に高めるべく、装置２５のベアリングに設けることができる。他の形態では、前記システムからエネルギーを取り除くべくアクチュエータの逆起電力（EMF）を使用することによって、この受動的制動部材が導入され得る。加えて、ボイスコイルの実施形態においては、複数のワイヤコイルが設けられ、それらのコイルのいくつかは逆起電力（EMF）と強制的な減衰作用を得るべく使用され得る。

10

【００３９】

各アクチュエータ及び各センサは、これら変換器が地表面４７に接している接地部材４６に直接連結すると、即ち、例えば、前記地表面が、ユーザが操作する器具１８ではなく、前記変換器の荷重を受けるようになると、減結合される。その結果、前記変換器の重量及び慣性は、前記器具を取り扱い、動かすユーザにとって、実質的に無視し得るものとなる。このことにより、バーチャルリアリティシステムに対してより現実的なインタフェースが与えられることとなる。その理由は、前記コンピュータが、これら度合の動きにおいてユーザに感知された実質的に全ての力を与えるべく前記変換器を制御するためである。対照的に、多自由度インタフェースの一般的な従来技術における配列では、一のアクチュエータが、連続するリンク及びアクチュエータの連鎖において別のアクチュエータ上に「跨る」こととなる。この低い帯域幅の配列によって、ユーザは、物体を操作する際に、連結したアクチュエータの慣性を感じることになる。

20

【００４０】

任意に、器具１８のための自由度を付加するべく補助変換器を装置２５に追加することができる。具体的には、一の変換器を、例えば、前記器具の鋭利な刃の延長動作をシミュレートするべく、器具１８の２つの部分を互いに関連付けて動かすユーザによって与えられる自由度の力を検知するか及び／又は該力を出力するために、腹腔鏡下手術器具１８のグリップに追加することができる。

30

【００４１】

図３Ａ（斜視図）、３Ｂ（頂面図）、３Ｃ（側面図）、３Ｄ（正面図）、及び３Ｅ（底面図）は、前記装置２５の連結機構３８を図示するものである。前記連結機構３８は、第２の回転５６を可能とするべく、前記底部構造体４６に回転可能に連結されており、そこでは、連結機構３８の多様な可動部からのケーブルが底部構造体のアクチュエータに延びて入っている。直線状軸部材４０は、２つの自由度５０及び５２を与えるべく連結機構３８に関連付けられて動かされても良く、別の２つの自由度５４及び５６を与えるべく連結機構の各部分と共に動いても良い。

【００４２】

図４Ａ及び４Ｂは連結機構３８の斜視図を示す。前記第２の回転（上下揺動）５６が、連結機構３８と底部構造体４６との間に位置している機械的ベアリングによって与えられている。接地されたアクチュエータ７０から前記第２の回転方向に力を与えるためには、キャプスタン駆動部８０が前記アクチュエータから連結機構３８に力を伝達する機械的トランスミッションであることが必要となる。キャプスタンブリー８２が、前記アクチュエータ７０の回転シャフト７１に固設されていても良い。そこでは、前記ブリーは、前記連結機構３８の前記自由度５６の回転軸Ａに平行な回転軸を有している。そして、前記ブリーは、図示するように連結機構３８に固設されているドラム８４に近接して配置されている。ケーブル８６が、前記ドラム８４の一端に接続され、該ドラムの縁に沿って配線され、前記ブリー８２の周りに１又はそれ以上の回数巻き付けられ、更に、前記ドラムの残りの縁に沿って他の側に向けて配線されている。前記ケーブルは、例えば、テンショ

40

50

ンナット 88 を用いて緊張状態とされても良い。他の形態では、他の種類のトランスミッション、例えば、ギヤ、摩擦車、ベルトドライブ等を使用し得る。

【0043】

連結機構 38 の前記第 1 の回転（左右揺動）54 が異なるケーブル駆動部 100 により与えられる。ケーブル駆動部 100 は、ドラム 102 を備えており、該ドラムは、連結部材 112 に連動して軸 B の周りを自由度 54 で回転する連結部材 110 に固設されている。2 個のアイドラーパーリー 104 a 及び 104 b が回転可能に連結部材 112 に連結しており、軸 B に平行な各軸の周りで回転している。破線で示すケーブル 106 は、ドラム 102 の一端から発し、アイドラーパーリー 104 a の周りに巻かれ、連結機構 38 を通って外に出て底部構造体に送られてアクチュエータ 64 のプーリー 74 に複数回巻回されている。前記ケーブルは、そこで引き返し、前記連結機構 38 を通って、アイドラーパーリー 104 b の周りを通り、ドラム 102 の縁に沿って延びてテンショナー 114 に至っている。この構成により、ケーブル 106 によってドラム 102 の所定の側部を引き取ることにより、前記アクチュエータが連結部材 110 を回転させ得るのである。

10

【0044】

図 5 A、5 B、5 C、及び 5 D は、前記連結機構 38 の他の側面断面図である。そこでは、前記連結部材 112 に関連付けられて連結部材 110 が極端に回転している例が示されている。その動きは、前記ドラム 102 の移動経路に設けられた各停止部により制限を受け得る。例えば、図 5 A に示すように、開口部 118 がドラム 102 内に設けられている。円柱部等の停止部材 120 が、前記連結部材 112 に連結され、開口部 118 内に配置されることで、前記停止部材 120 が開口部 118 の両端部に係合し、前記ドラムの動きが制限される。

20

【0045】

図 6 A 及び 6 B は、それぞれ連結機構 38 の底部と底部の斜視図である。換りの自由度 52 の方向に力を出力するため、（破線で示す）ケーブル 130 の第 1 の端部が底部構造体 46 のアクチュエータ 66 において直接駆動されるプーリー 76 から発し、連結機構 38 を通っている。前記ケーブル 130 は、アイドラーパーリー 132 の周りを通り、別のアイドラーパーリー 134 の周りを通り、別のアイドラーパーリー 136 の周りを通っている。前記ケーブル 130 は、（図 6 a に示すように、）次に、回転可能なドラム 138 の周りで反時計回りに巻き掛けられており、地点 140 で前記ドラムに接続されている（地点 140 は他の形態では他の場所に配置されていても良い）。前記ケーブル 130 の他の第 2 の端部は、地点 140 でドラム 138 に接続されており、（図 6 a に示すように、）反時計回りに前記ドラム 138 の残りの側部上に巻き掛けられ、前記プーリー 142 に至っている。ケーブル 130 は、次に、前記第 2 の端部から発し、アイドラーパーリー 142 及びアイドラーパーリー 144 の周りに巻き掛けられている。そこでは、アイドラーパーリー 144 及びアイドラーパーリー 134 は、互いに近接して配置されており、同一の回転軸を有している。ケーブル 130 は、次に、アイドラーパーリー 146 の周りを通っている。該アイドラーパーリーは、プーリー 132 に近接して配置され、同一の回転軸を有している。前記ケーブル 130 は、次に、前記連結機構 38 を通り（その両端は、線 130 で示している。）、前記底部構造体内のアクチュエータ 66 に至り、そこで該アクチュエータ 66 により直接駆動されている前記プーリー 76 の周りに複数回巻き付けられている。

30

40

【0046】

動作時には、前記アクチュエータ 66 は、ドラム 138 をいずれの方向にも回転させ得るものとなり、その結果、直線状軸部材 40 及び器具 18 が回転する。前記アクチュエータシャフトが一方向に回転するとき、プーリー 136 の周りのケーブル 130 の第 1 の端部は引き取られ、その結果、前記ドラムがそれと対応する方向に中央点 170 の周りで回転するようになる。前記アクチュエータシャフトがそれと逆方向に回転するとき、ケーブル 130 の第 2 の端部はプーリー 142 の周りで引き取られ、その結果、前記ドラムがその逆方向に中央点 170 の周りで回転するようになる。

50

【 0 0 4 7 】

前記直線状の挿入方向の自由度 5 0 に力が出力されるようにするため、ケーブル 1 6 0 の第 1 の端部（図 6 a に破線で示している。）が、底部構造体 4 6 内のアクチュエータ 6 2 において直接駆動されるプーリー 7 2 から発し、連結機構 3 8 を通っている。前記ケーブル 1 6 0 は、アイドラプーリー 1 6 2 の周り、アイドラプーリー 1 6 4 の周り、及び、アイドラプーリー 1 6 6 の周りを通っている。前記ケーブル 1 6 0 の第 1 の端部 1 6 1 は、次に、プーリー 1 6 9 の周りを通り（図 7 a 参照）、直線状軸部材 4 0 に連結している。前記ケーブル 1 6 0 の第 2 の端部 1 6 2 は、回転軸の中心点 1 7 0 の反対側にある直線状軸部材 4 0 に連結している。前記ケーブル 1 6 0 は、第 2 の端部から発し、プーリー 1 6 8 の周り、プーリー 1 6 4 に近接し且つ同一の軸の周りに回転するプーリー 1 7 2 の周り、プーリー 1 6 2 に近接し且つ同一の軸の周りを回転するプーリー 1 7 4 の周りを通っている。前記ケーブルは、次に、前記連結機構 3 8 を通って、前記アクチュエータ 6 2 により駆動されている前記プーリー 7 2 に至り、そこで複数回巻回されている。

10

【 0 0 4 8 】

動作時には、前記アクチュエータ 6 2 は、その駆動するプーリーをいずれかの方向に回転させることによって、それに対応して前記ケーブル 1 6 0 の第 1 又は第 2 の端部を引き取ることができる。前記第 1 の端部が引き取られる場合には、（図 3 に方向付けされているように、）前記直線状軸部材 4 0 に下向きの力が出力される一方、前記第 2 の端部が引き取られる場合には、前記直線状軸部材に上向きの力が出力される。

【 0 0 4 9 】

図 7 A ~ 7 C は、前記連結機構 3 8、前記ケーブル、及び上述した各ケーブル及びプーリーの別の斜視断面図であり、挿入の自由度 5 0 の機構を図示するものである。

20

【 0 0 5 0 】

図 8 A 及び 8 B は、上述した特性を示している前記連結機構 3 8 の斜視断面図及び正面図である。

【 0 0 5 1 】

このように、本発明の機構は、前記器具 1 8 の、4 つの自由度における力を発生する 4 個の接地されたアクチュエータを備えていることが好ましい。前記アクチュエータが接地されるために、各ケーブルは、各アクチュエータが遠隔した機械的な動きに対して出力し得るように用いられる。例えば、回転されるドラム又は移動される直線状軸部材は、標準的な巻き駆動とは異なり、駆動されるプーリーから離隔して配置されている。前記連結機構の内部を通り、外に出されて前記底部構造体に送られた 3 本のケーブル（6 つの端部）は、多様な方法で各アイドラプーリーの周りに曲げられ、その縦軸に巻き付けられている。しかしながら、これは、各ケーブルの伸張による問題を引き起こさない。前記複数のケーブルの 6 つの端部は、前記ケーブルの伸張を最小限とするべく、上下揺動軸 A に近接し、束ね整理されることが好ましい。例えば、6 本のケーブルの長さが整理され、各断面が前記回転軸 A の周りにほぼ円を形成している。

30

【 0 0 5 2 】

以上、本発明を、いくつかの好ましい形態によって説明してきたが、さまざまな変更や修正、均等形態との置換が可能なのは、詳細な説明の読み込み及び図面の観察によって考察すれば当業者には明白である。例えば、装置 2 5 の前記連結部材は、開示された連結構造を維持しながら、現物の大きさ及び形態の相似形を採用することもできる。同様に、複数の自由度を与える他の種類のジンバル機構又は異なる機構は、慣性、摩擦、及びバックラッシュ（巻き返し）を低減させるべく本明細書に開示された駆動機構と共に用い得る。また、多様な装置を、与えられた自由度で物体の位置を検知し、それらの自由度の範囲で前記物体を駆動するべく用いることもできる。加えて、前記変換器内で用いられ、望ましい性能を発揮するセンサ及びアクチュエータは、多様な形態をとり得る。同様に、その他の種類の組み合わせが、前記物体とアクチュエータとの間で望ましい性能を発揮するべく使用され得る。更に、専門用語は、記載の明瞭性を担保するために使用したものであり、本発明を限定するものではない。

40

50

【図面の簡単な説明】

【0053】

【図1】図1は、医療シミュレーション用途に使用されている本発明の図面である。

【図2A】図2Aは、本発明に係る機械的シミュレーション装置の斜視図である。

【図2B】図2Bは、本発明に係る機械的シミュレーション装置の斜視図である。

【図2C】図2Cは、機械的シミュレーション装置の底部構造体の図である。

【図2D】図2Dは、機械的シミュレーション装置の連結機構の一部の斜視図である。

【図2E】図2Eは、本発明に係る機械的シミュレーション装置の背面図である。

【図2F】図2Fは、本発明に係る機械的シミュレーション装置の頂面図である。

【図2G】図2Gは、本発明に係る機械的シミュレーション装置の頂部表面の拡大図である。 10

【図3】図3Aは、本発明に係る機械的シミュレーション装置の連結機構の斜視図であり、図3Bは、前記連結機構の頂面図であり、図3Cは、前記連結機構の側面図であり、図3Dは、前記連結機構の正面図であり、図3Eは、前記連結機構の底面図である。

【図4A】図4Aは、前記連結機構の斜視図である。

【図4B】図4Bは、前記連結機構の斜視図である。

【図5A】図5Aは、前記連結機構の側面断面図である。

【図5B】図5Bは、前記連結機構の側面断面図である。

【図5C】図5Cは、前記連結機構の側面断面図である。

【図5D】図5Dは、前記連結機構の側面断面図である。 20

【図6A】図6Aは、前記連結機構の底面図である。

【図6B】図6Bは、前記連結機構の斜視図である。

【図7A】図7Aは、前記連結機構の別の斜視断面図である。

【図7B】図7Bは、前記連結機構の別の斜視断面図である。

【図7C】図7Cは、前記連結機構の別の斜視断面図である。

【図8A】図8Aは、前記連結機構の斜視断面図である。

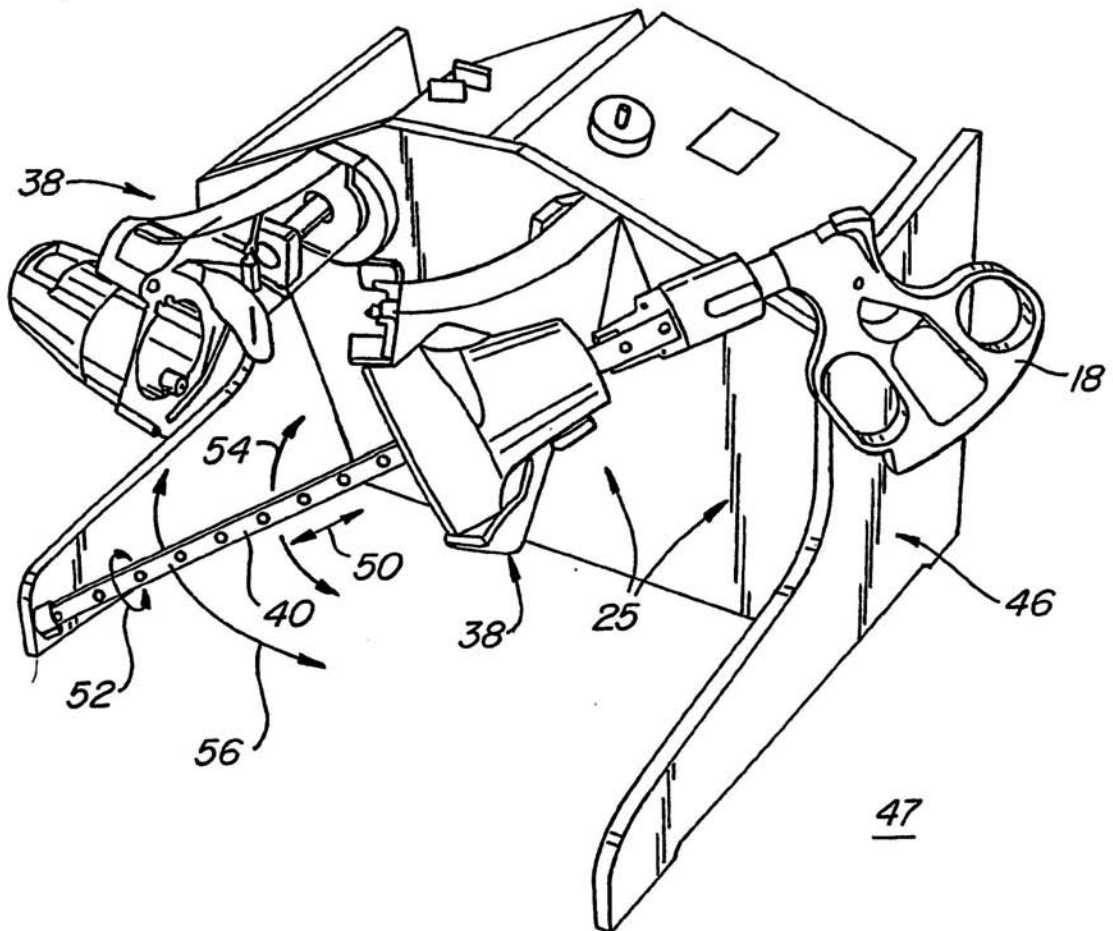
【図8B】図8Bは、前記連結機構の正面図である。

【符号の説明】

【0054】

10... (バーチャルリアリティ) システム、14... インタフェース装置、16... ホストコンピュータ、18... 訓練器具、25... 機械的シミュレーション装置、62, 64, 66, 70... アクチュエータ 30

【 図 2 A 】

**FIG. 2A.**

【 図 2 B 】

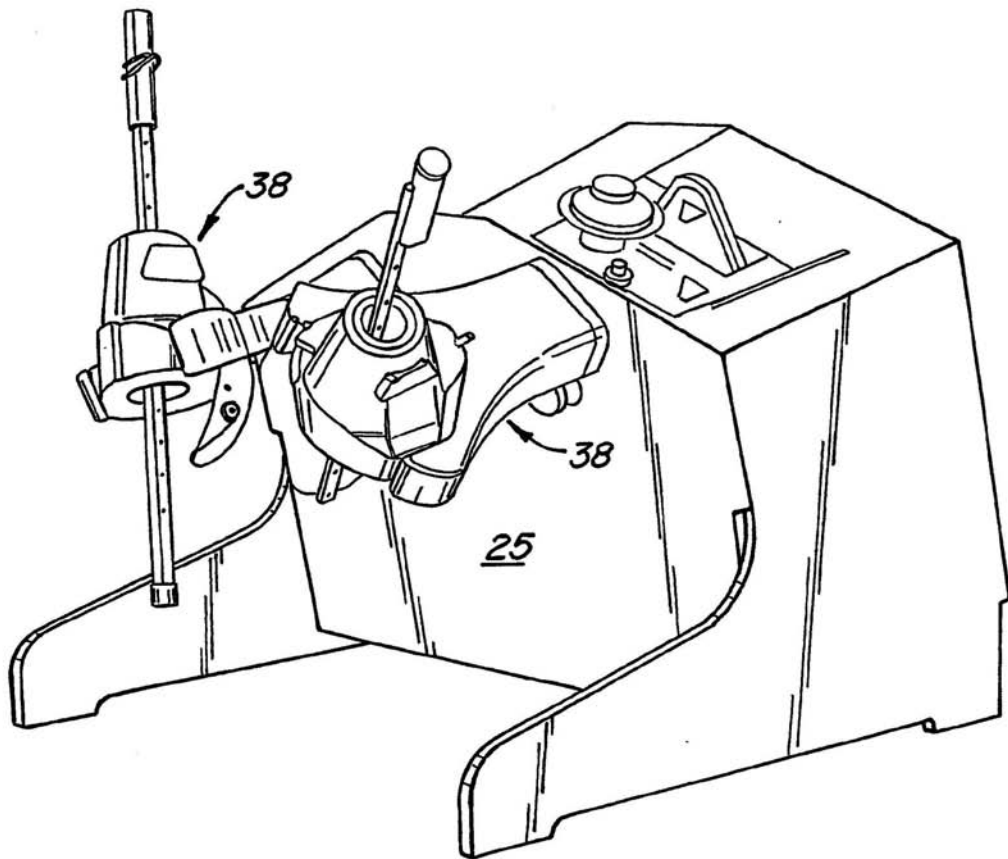
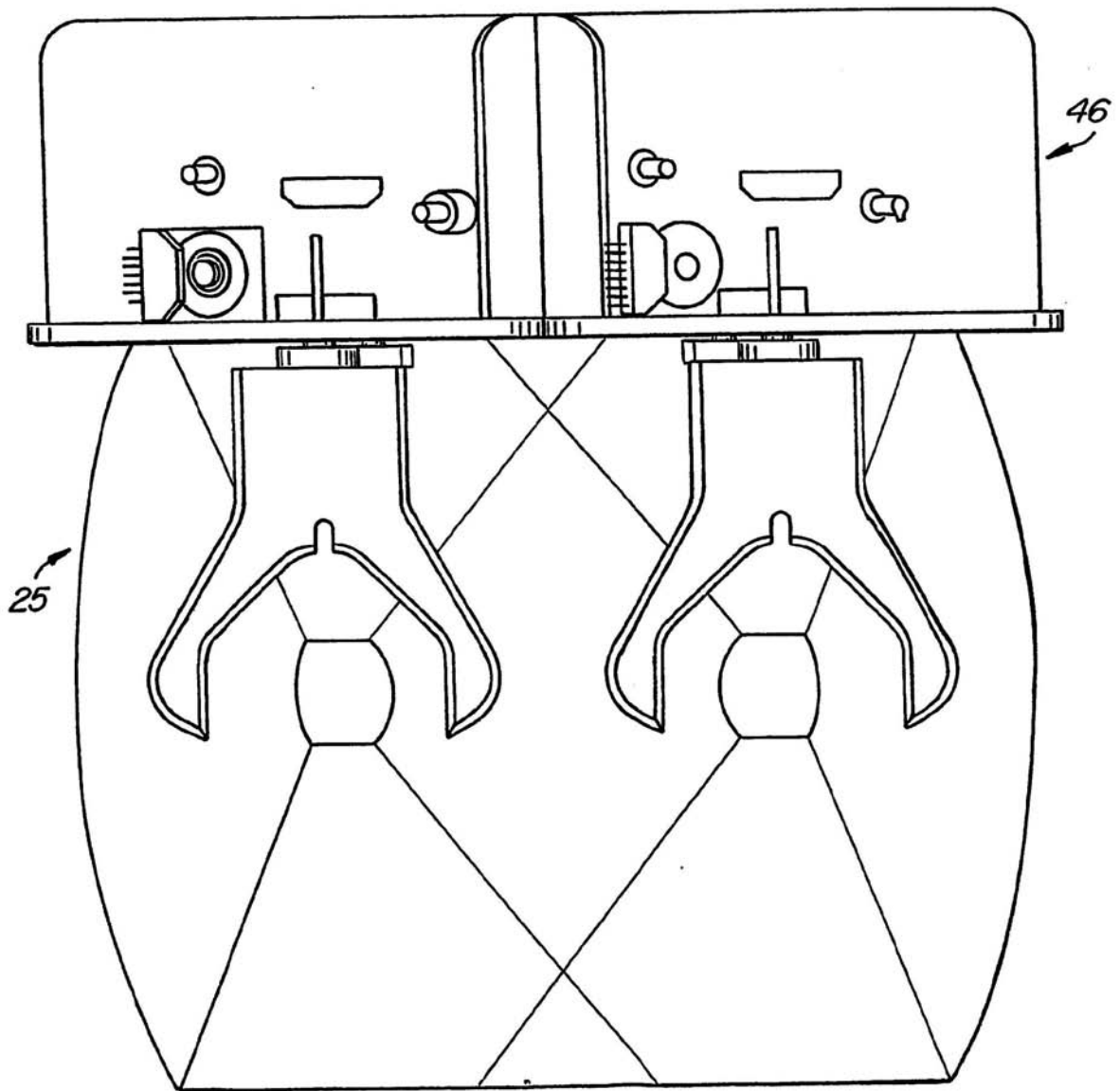


FIG. 2B.

【 図 2 C 】

**FIG. 2C.**

【図 2 D】

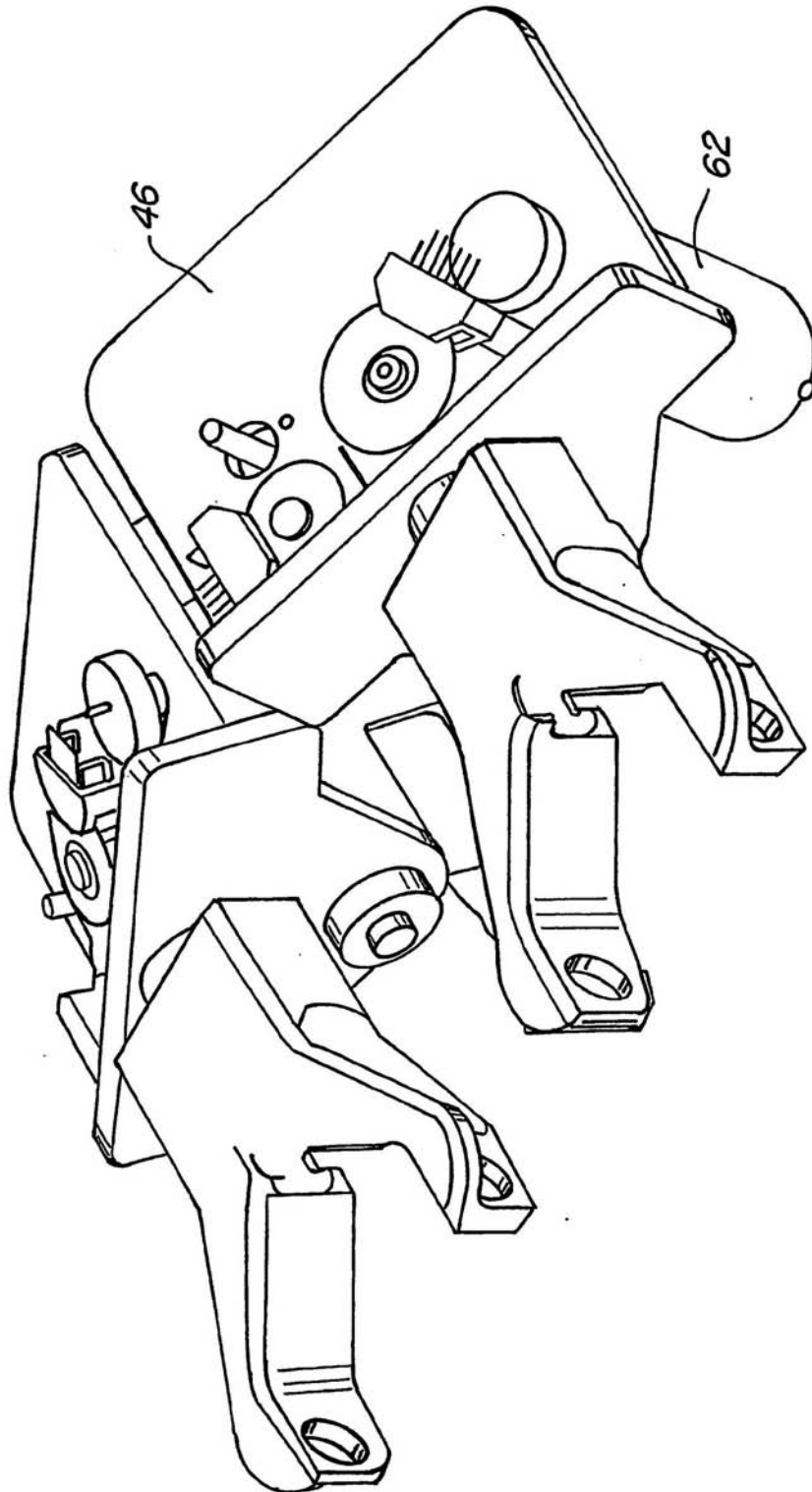


FIG. 2D.

【図 2 E】

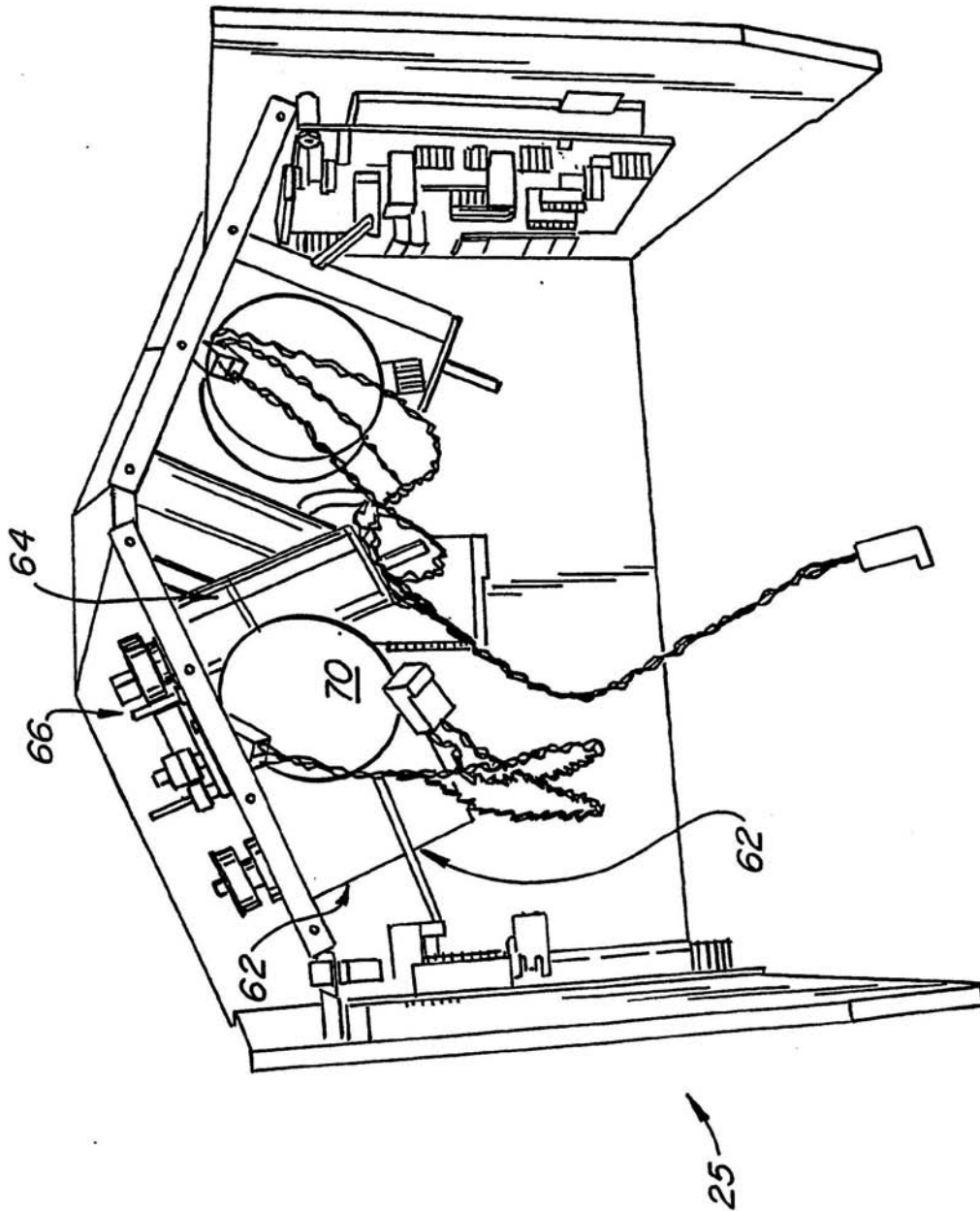
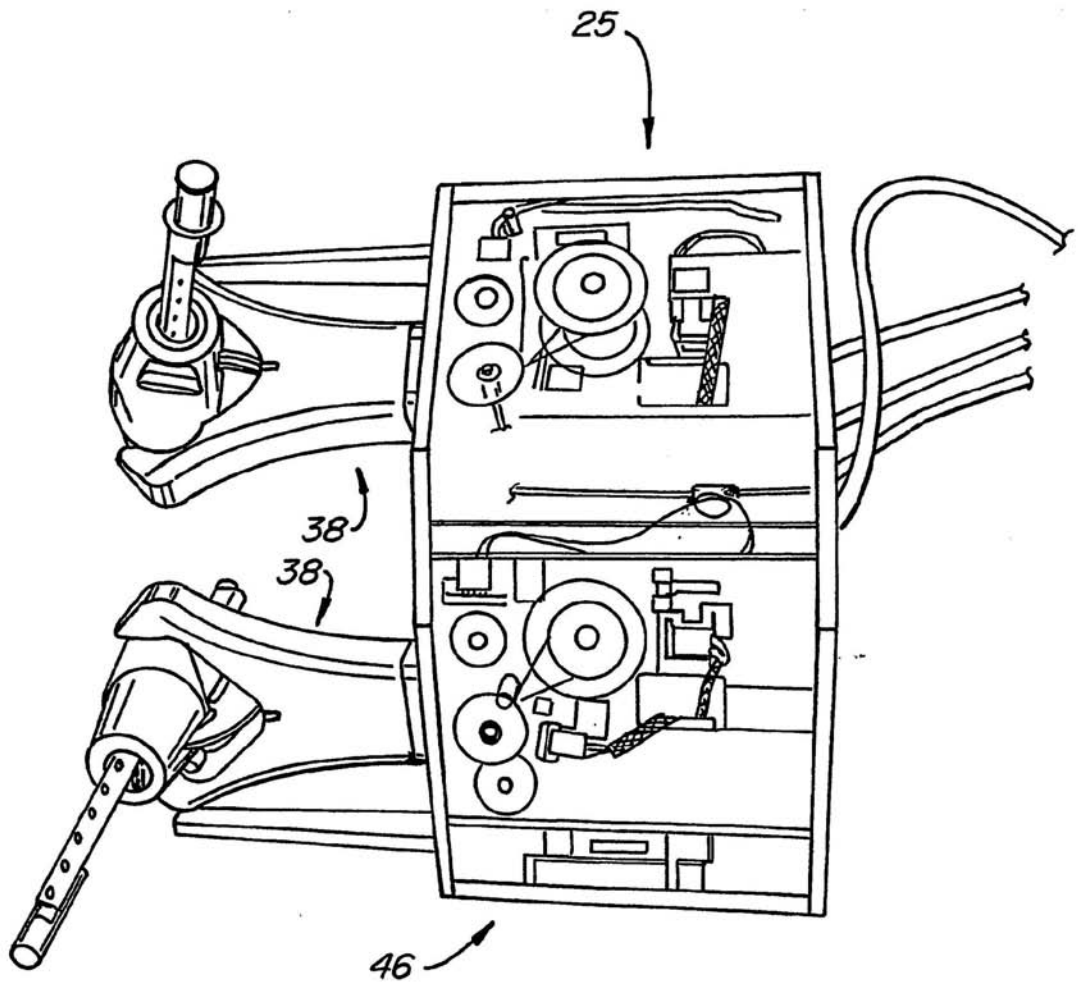


FIG. 2E.

【 図 2 F 】

**FIG. 2F.**

【図 2 G】

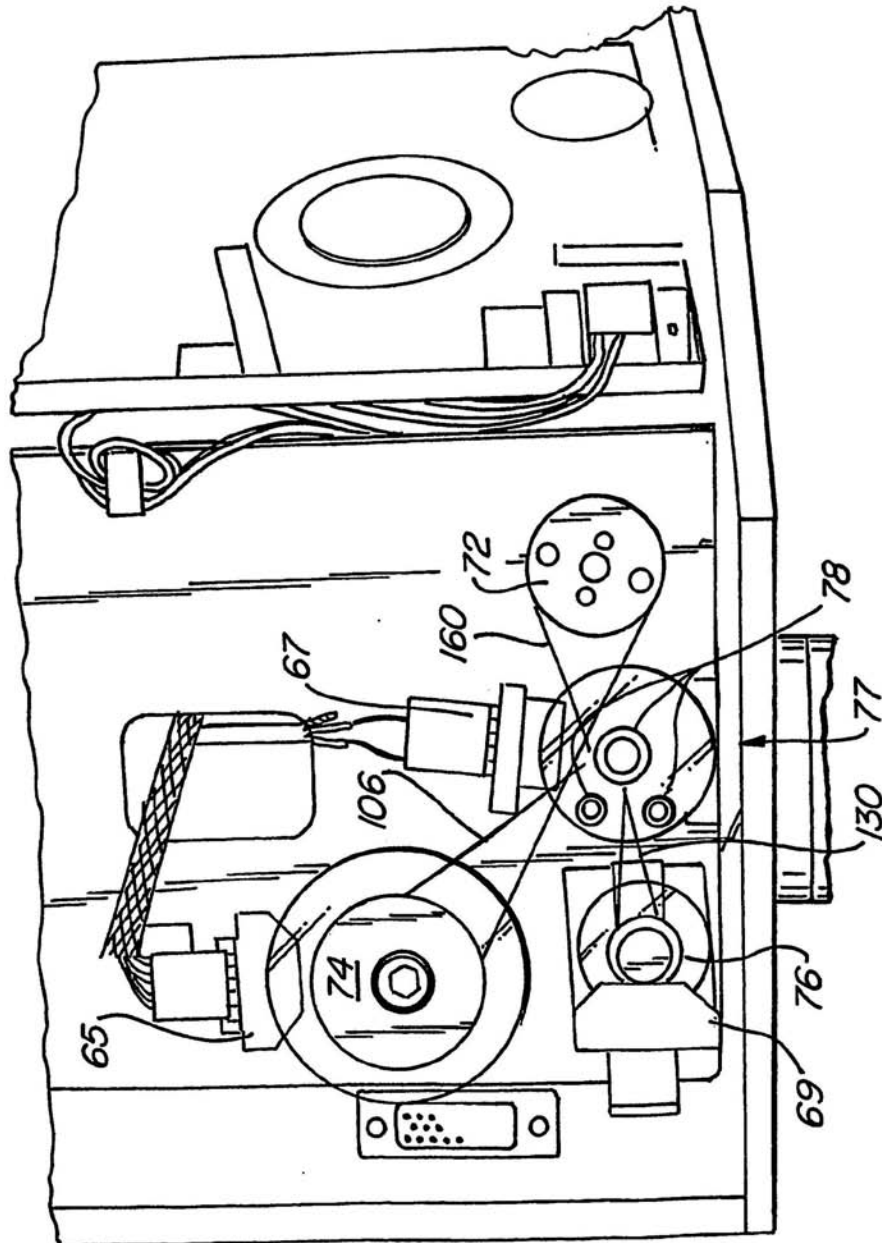


FIG. 2G.

【 図 3 】

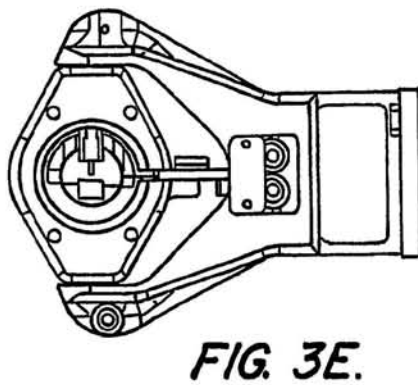
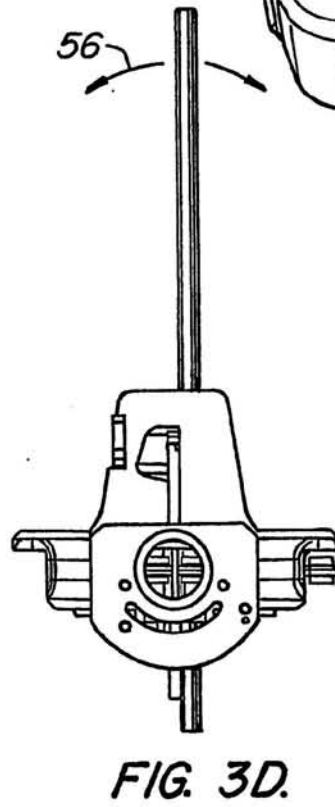
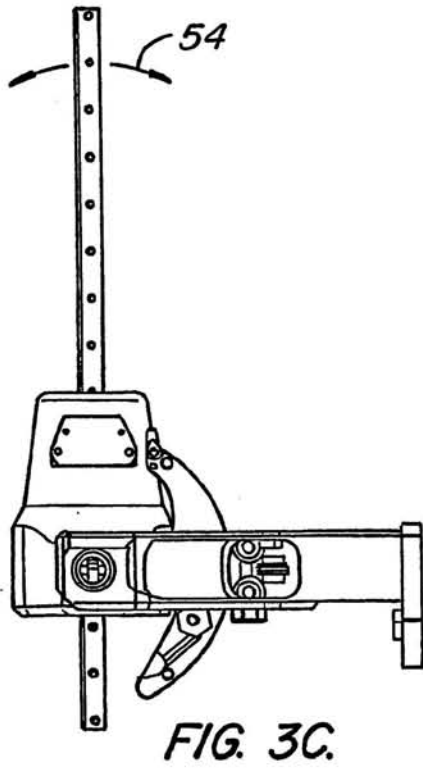
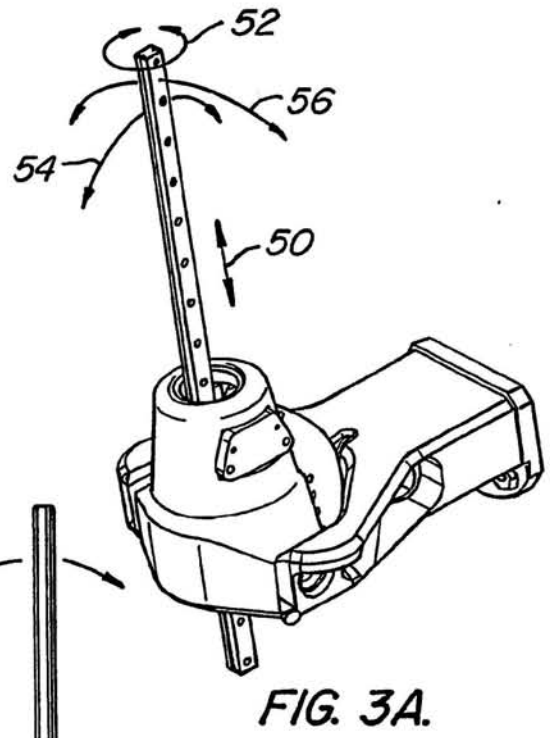
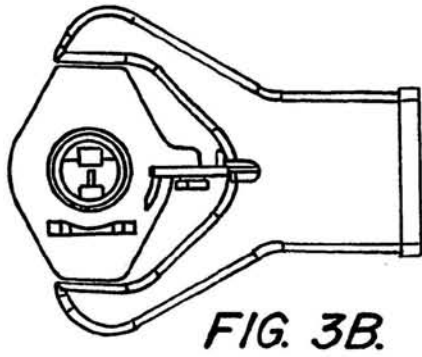
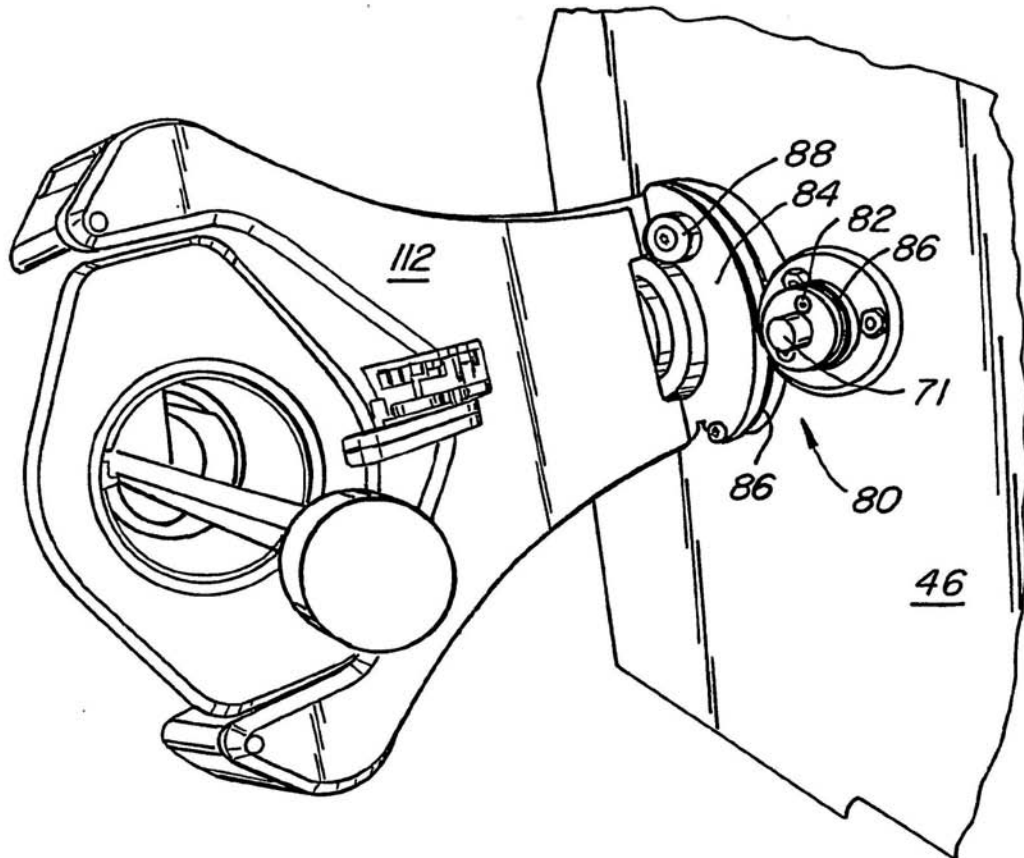
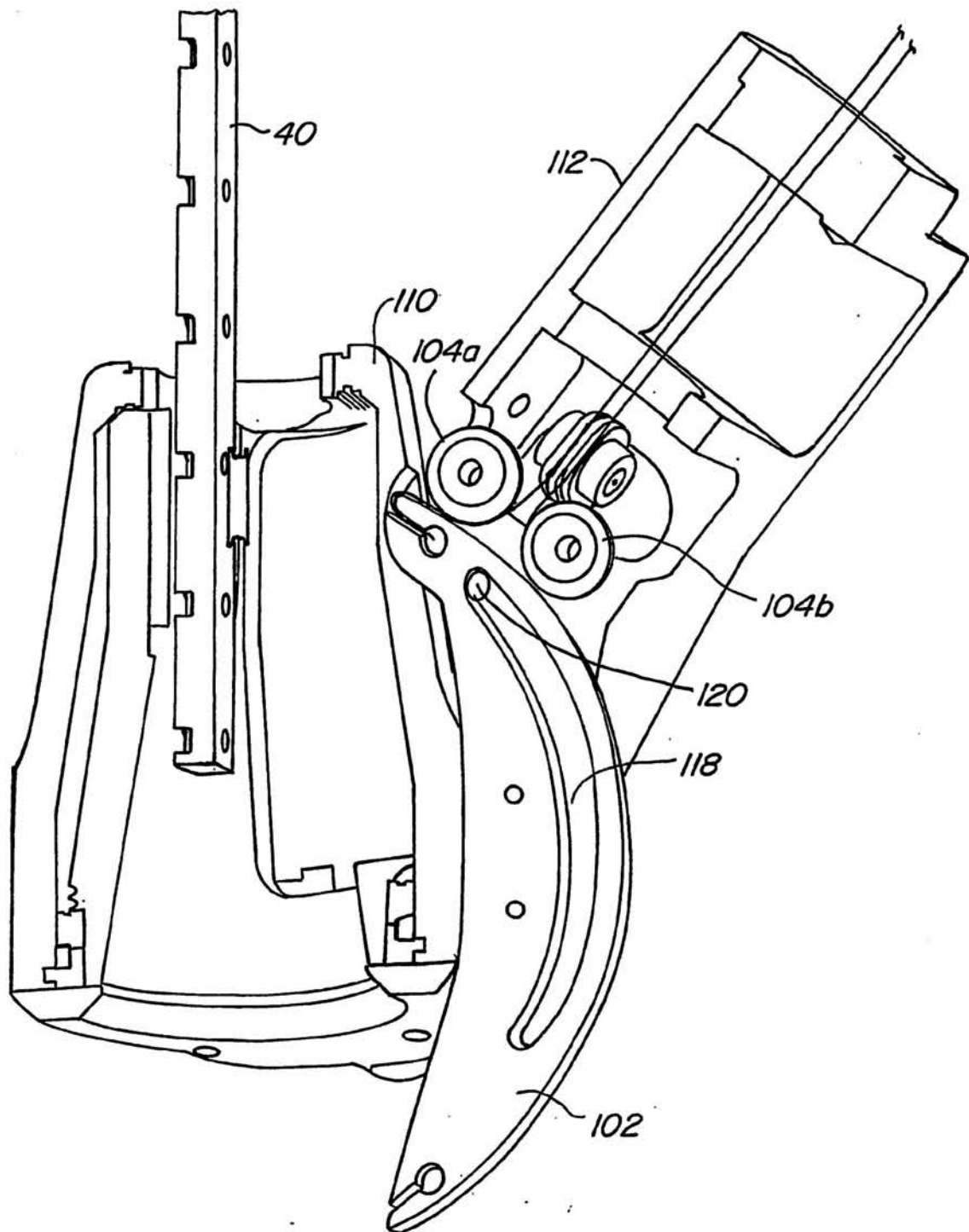


FIG. 4A.

【 図 4 B 】

**FIG. 4B.**

【 図 5 A 】

**FIG. 5A.**

【 図 5 B 】

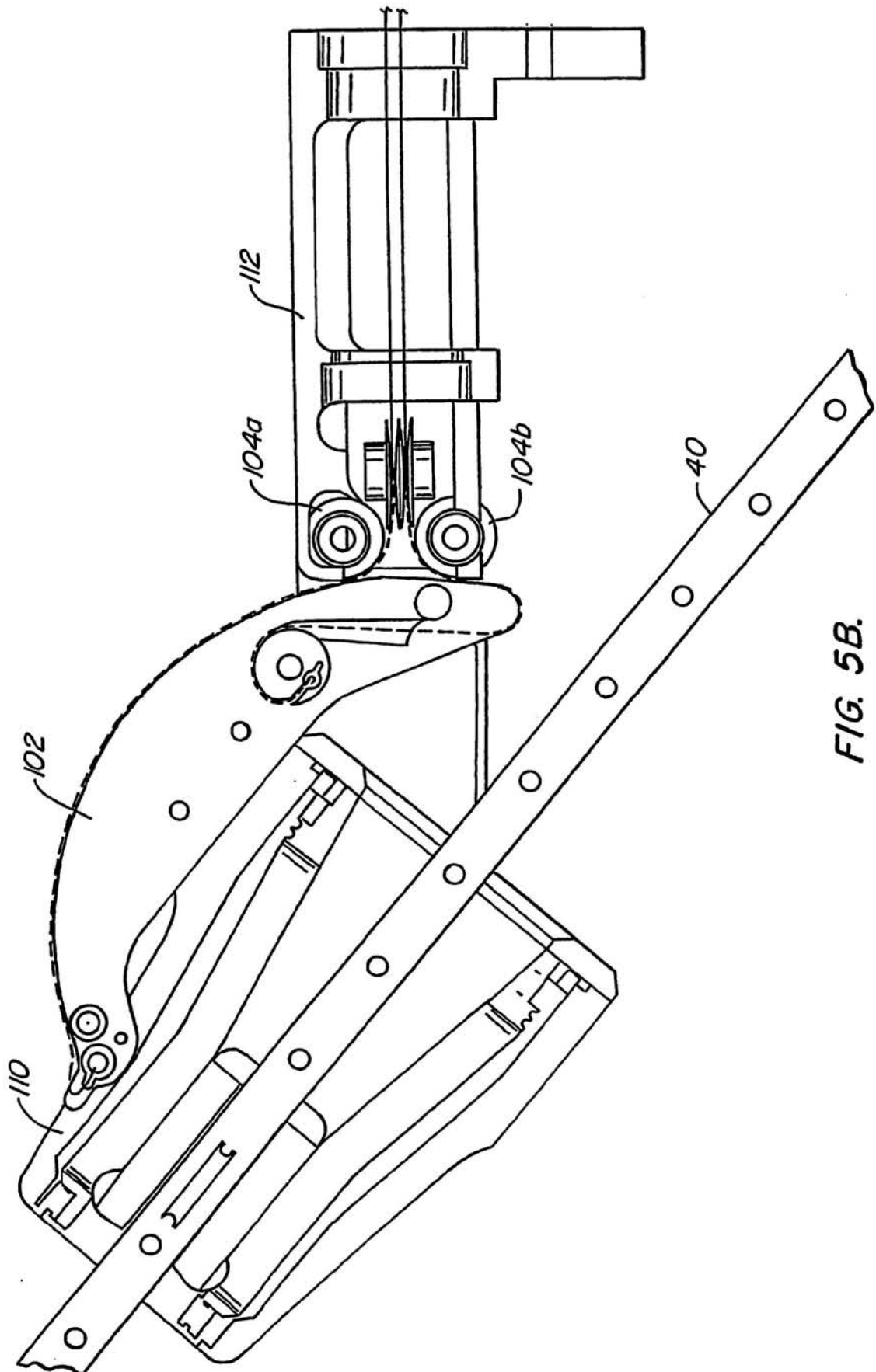


FIG. 5B.

【 図 5 C 】

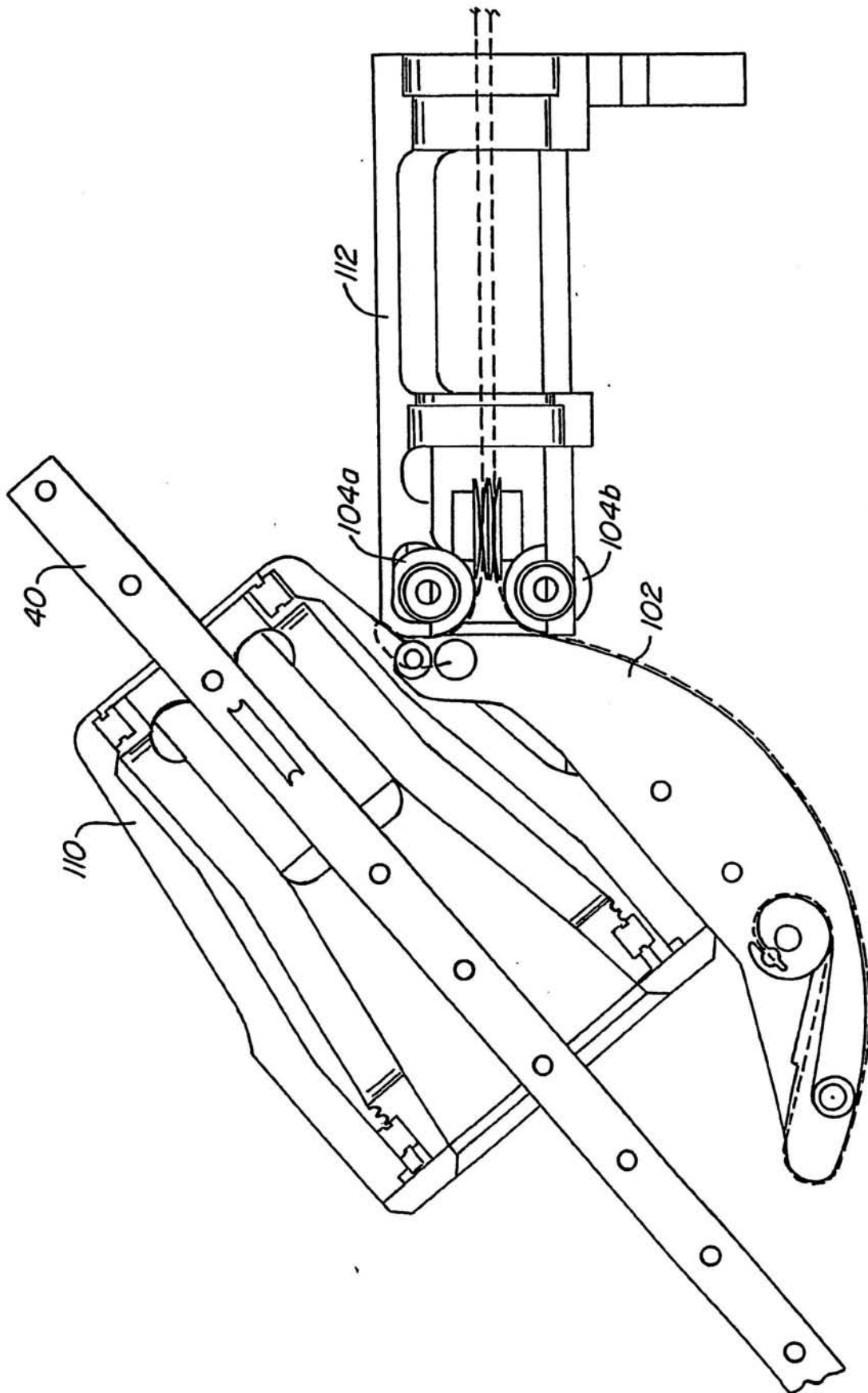
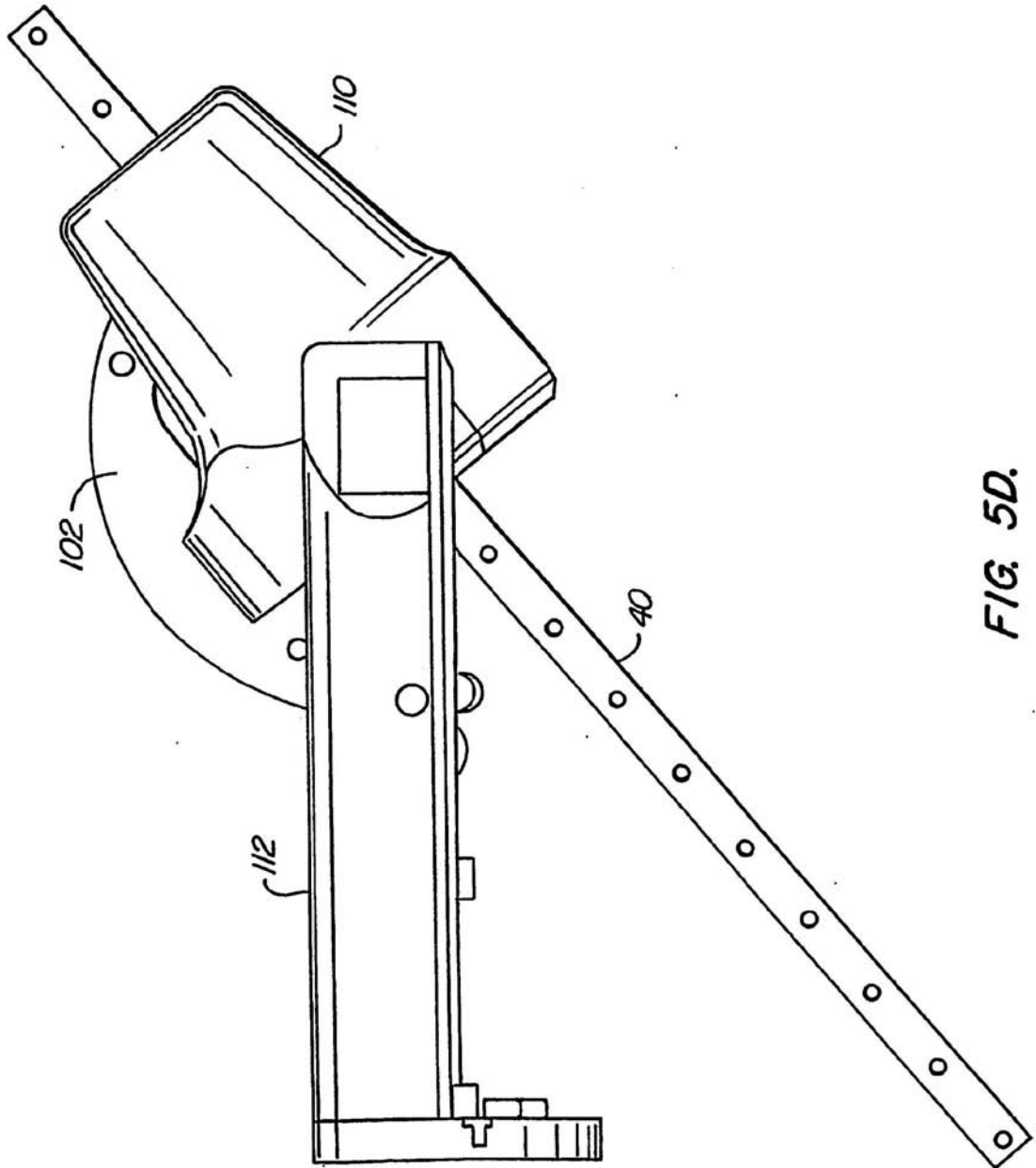


FIG. 5C.

【図 5 D】



【 図 6 A 】

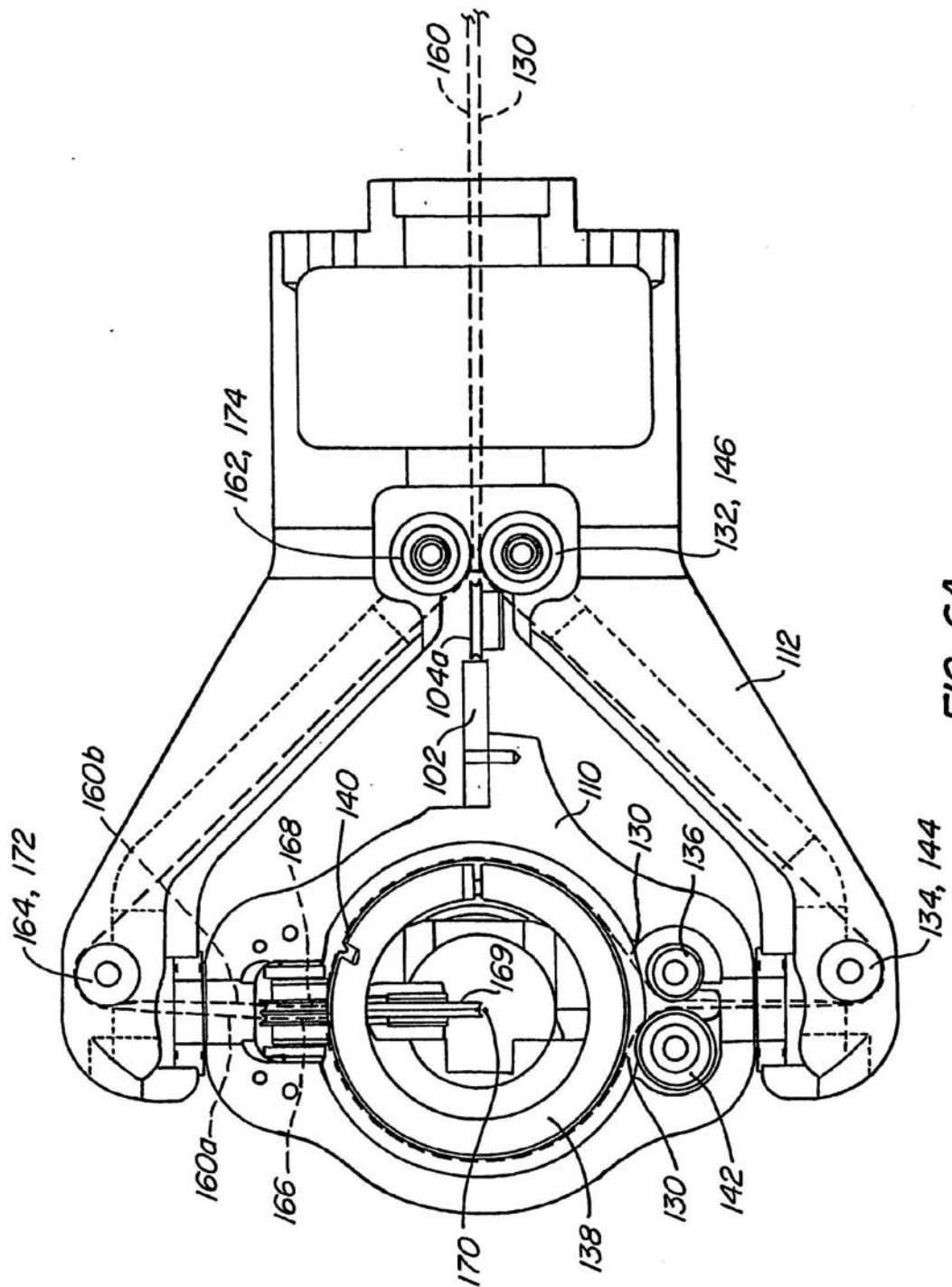


FIG. 6A.

【 図 6 B 】

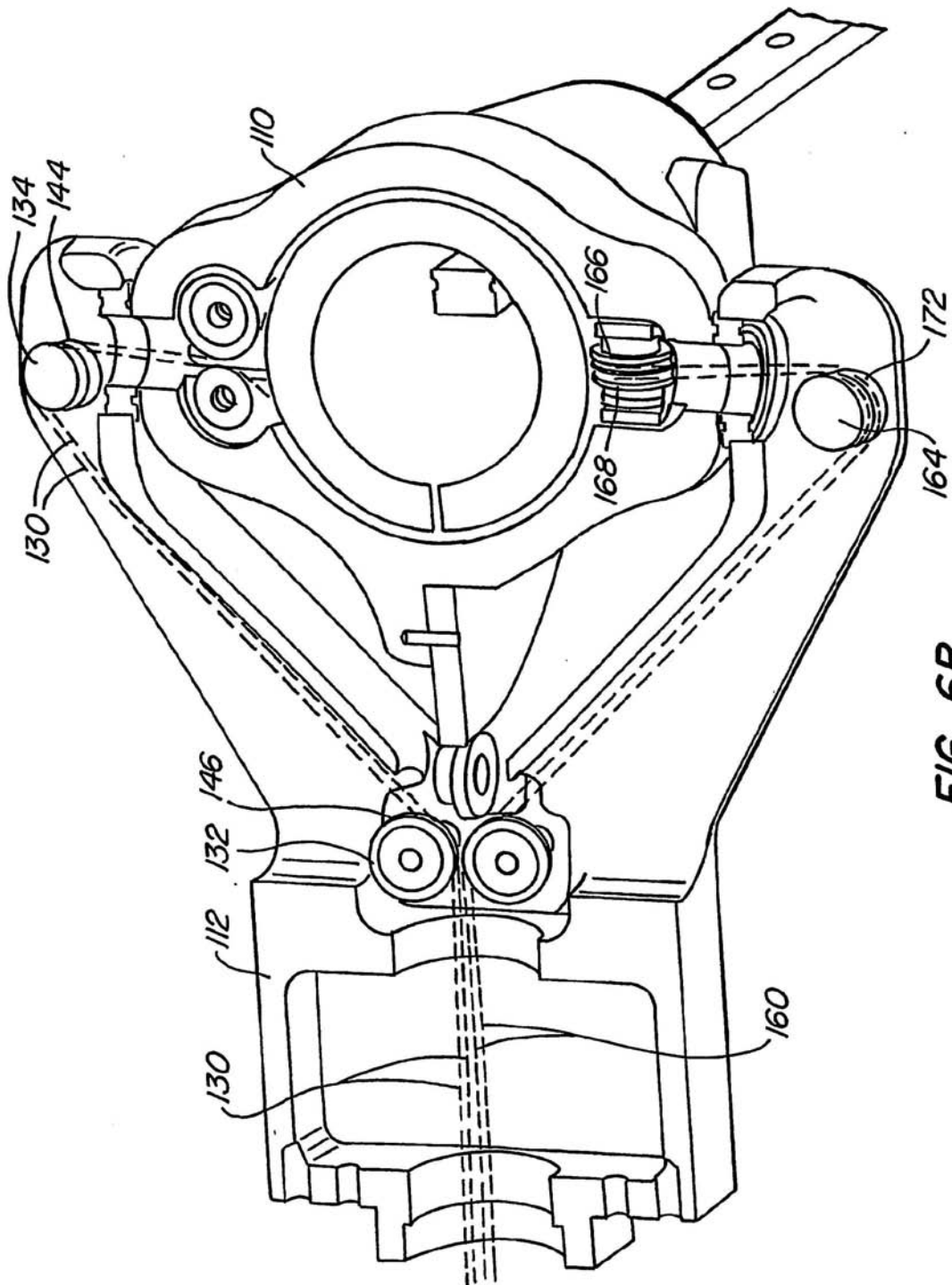


FIG. 6B.

【図 7 A】

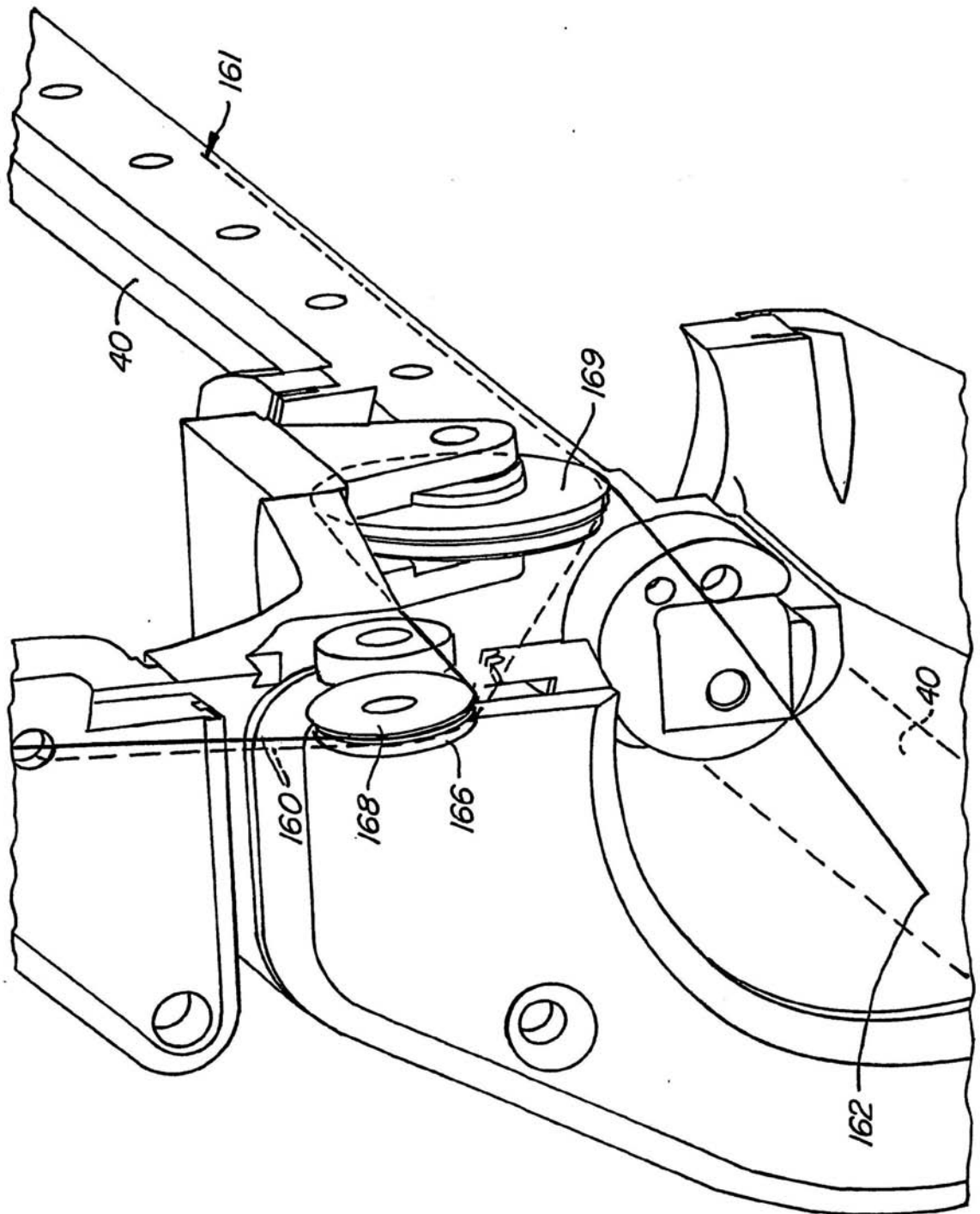


FIG. 7A.

【図 7 B】

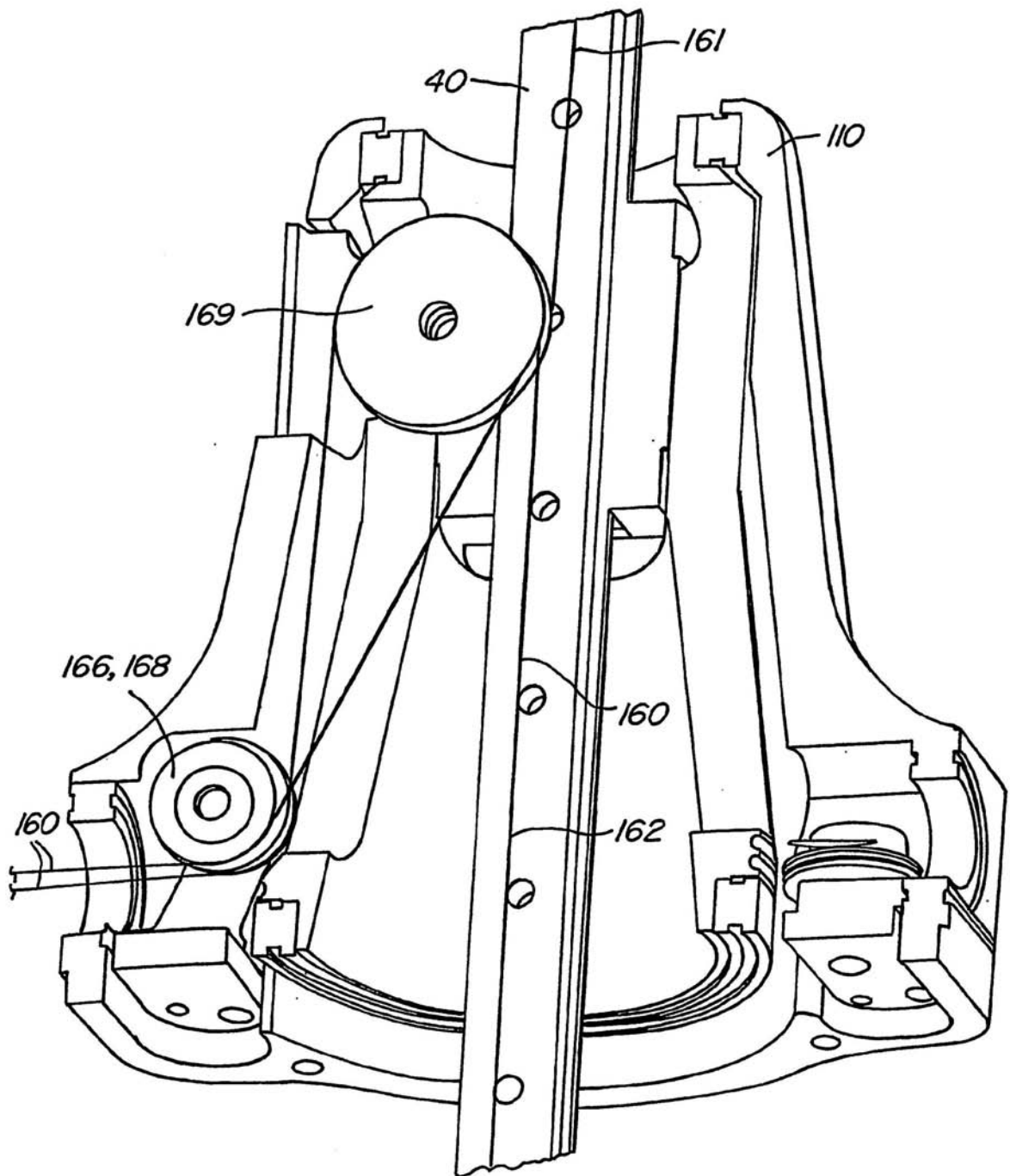
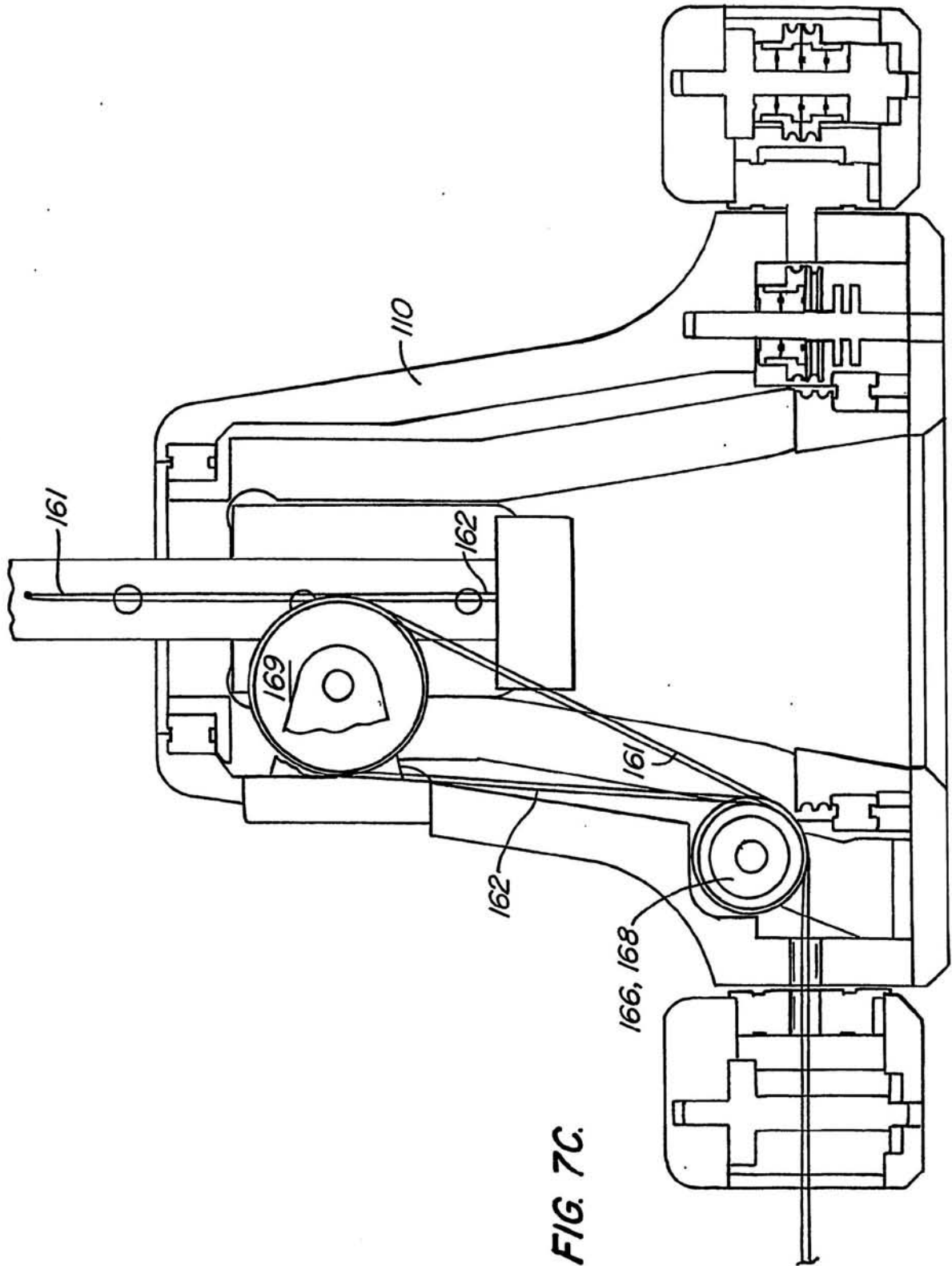


FIG. 7B.

【図 7 C】



【図 8 A】

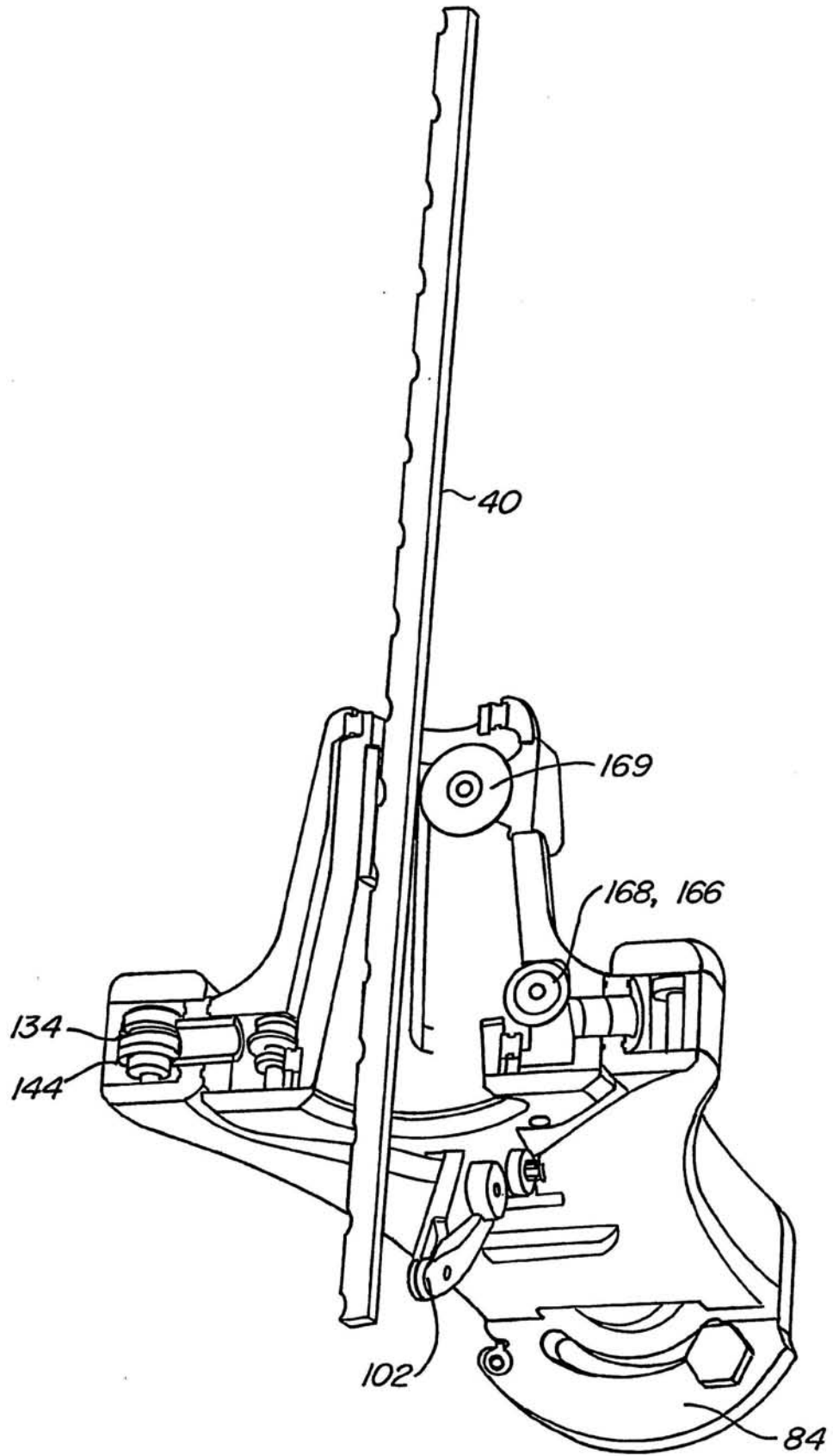


FIG. 8A.

【 図 8 B 】

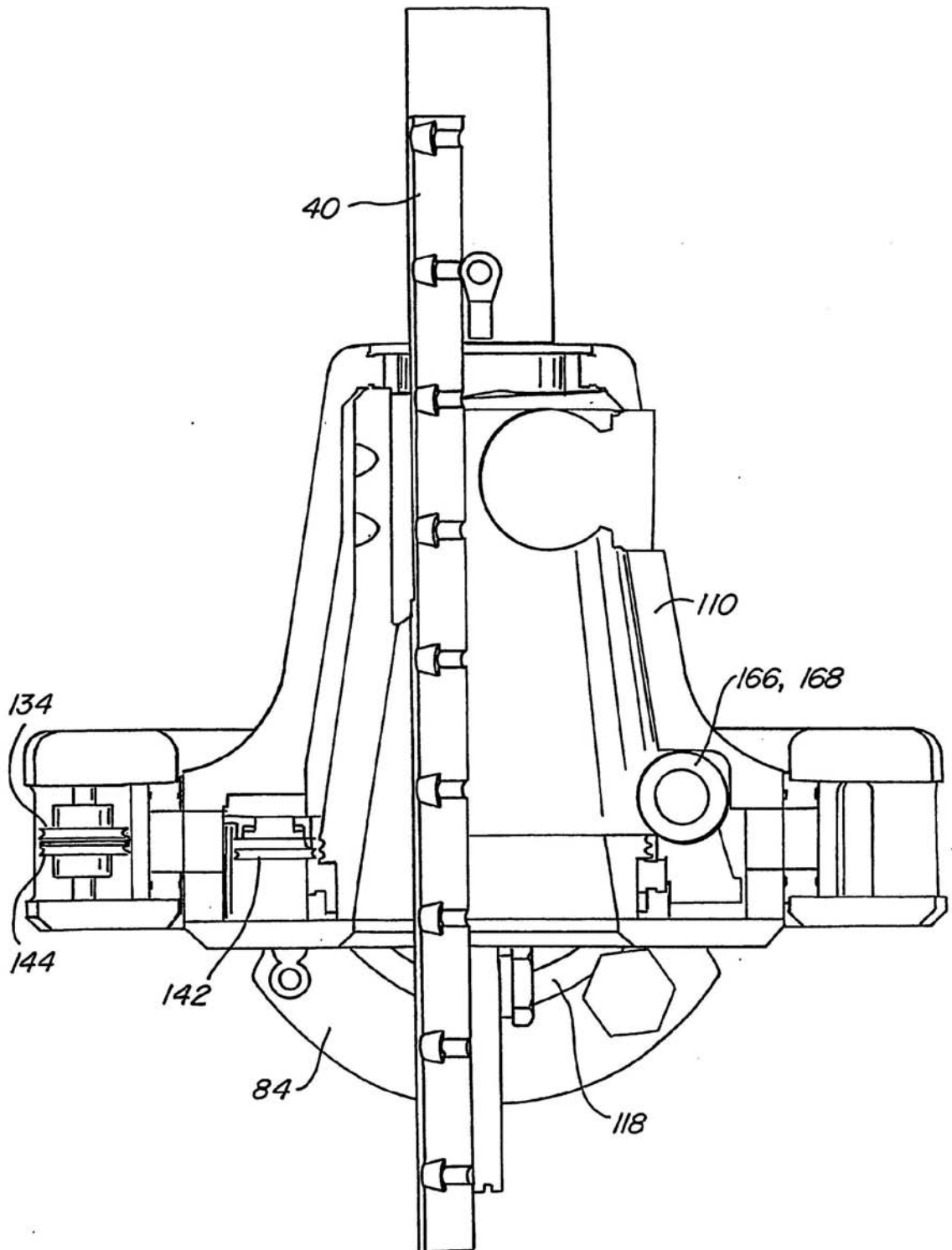


FIG. 8B.

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
30 January 2003 (30.01.2003)

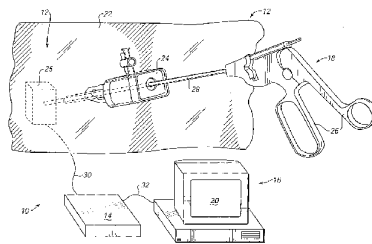
PCT

(10) International Publication Number
WO 03/009069 A1

- (51) International Patent Classification: **G05B 11/00** (74) Agents: **LEMOND, Kevin, T.**, et al.; Townsend and Townsend and Crew LLP, Two Embarcadero Center, Highrise Floor, San Francisco, CA 94111-3834 (US).
- (21) International Application Number: PCT/US02/22750
- (22) International Filing Date: 16 July 2002 (16.07.2002)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:
60/305,957 16 July 2001 (16.07.2001) US
Not furnished 15 July 2002 (15.07.2002) US
- (71) Applicant (for all designated States except US): **IMMER-
SION CORPORATION** [US/US]; 801 Fox Lane, San
Jose, CA 95131 (US).
- (72) Inventors; and
(75) Inventors/Applicants (for US only): **GREGORIO,
Pedro** [US/US]; 801 Fox Lane, San Jose, CA 95131 (US).
OLSEN, Neil, T. [US/US]; 801 Fox Lane, San Jose, CA
95131 (US). **BAILEY, David, W.** [US/US]; 801 Fox
Lane, San Jose, CA 95131 (US). **VASSALLO, Steven, P.**
[US/US]; 801 Fox Lane, San Jose, CA 95131 (US).
- (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU,
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, FR, GD, GR, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,
SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM,
KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW).
European patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM).
European patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK,
TR). OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NI, SN, TD, TG).
- Declaration under Rule 4.17:
— of inventorship (Rule 4.17(iv)) for US only
- Published:
with international search report

[Continued on next page]

(54) Title: INTERFACE APPARATUS WITH CABLE-DRIVEN FORCE FEEDBACK AND FOUR GROUNDED ACTUATORS



(57) Abstract: A system for providing realistic sensation within a simulation system by providing tactile (haptic) feedback to a user. The system includes an engageable practice tool that the user engages and a mechanical simulation apparatus coupled to the practice tool. The mechanical simulation apparatus includes a ground member (46), a mechanical linkage (38) rotatably coupled to the ground member (46), a linear axis member coupled to the practice tool and the mechanical linkage (38), at least four actuators (62, 64, 66, 70) coupled to the ground member, sensors (65, 67, 69) for sensing movement of the actuators, and at least three cables in contact with the at least four actuators (65, 64, 66, 70) and coupled to the mechanical linkage (38). An interface device is coupled to the simulation apparatus and a host computer (20) is coupled to the interface device (14) for implementing an application program. The application program provides signals for the actuators (62, 64, 66, 70) to move the cables (130) and thereby move the mechanical linkage (38).

WO 03/009069 A1

WO 03/009069 A1 

before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments *For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.*

WO 03/009069

PCT/US02/22750

PATENT APPLICATION**INTERFACE APPARATUS WITH CABLE-DRIVEN
FORCE FEEDBACK AND FOUR GROUNDED ACTUATORS****CROSS-REFERENCES TO RELATED APPLICATIONS**

[0001] This application claims the benefit of U.S. Provisional Patent Application Serial No. 60/305,957, filed July 16, 2001, entitled "INTERFACE APPARATUS WITH CABLE-DRIVEN FORCE FEEDBACK AND FOUR GROUNDED ACTUATORS," the contents of which are hereby incorporated in its entirety for all purposes.

**STATEMENT AS TO RIGHTS TO INVENTIONS MADE UNDER
FEDERALLY SPONSORED RESEARCH OR DEVELOPMENT**

[0002] NOT APPLICABLE

**REFERENCE TO A "SEQUENCE LISTING," A TABLE, OR A COMPUTER
PROGRAM LISTING APPENDIX SUBMITTED ON A COMPACT DISK.**

[0003] NOT APPLICABLE

BACKGROUND OF THE INVENTION**1. Field of the Invention**

[0004] The present invention relates generally to interface devices between humans and computers, and more particularly to computer interface devices that provide force feedback to the user.

2. Description of the Prior Art

[0005] Virtual reality computer systems provide users with the illusion that they are part of a "virtual" environment. A virtual reality system will typically include a computer processor, virtual reality software, and virtual reality I/O devices such as head mounted displays, sensor gloves, three dimensional ("3D") pointers, etc.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

[0006] Virtual reality computer systems may be used for training. In many fields, such as aviation and vehicle and systems operation, virtual reality systems have been used successfully to allow a user to learn from and experience a realistic "virtual" environment. The appeal of using virtual reality computer systems for training relates, in part, to the ability of such systems to allow trainees the luxury of confidently operating in a highly realistic environment and making mistakes without "real world" consequences. For example, a virtual reality computer system allows a doctor-trainee or other human operator or user to "manipulate" a scalpel or probe within a computer-simulated "body," and thereby perform medical procedures on a virtual patient. In this instance, the I/O device, which is typically a 3D pointer, stylus, or the like, is used to represent a surgical instrument such as a scalpel or probe. As the "scalpel" or "probe" moves within a provided space or structure, results of such movement are updated and displayed in a body image displayed on the screen of the computer system so that the operator gains the experience of performing such a procedure without practicing on an actual human being or a cadaver. In other applications, virtual reality computer systems allow a user to handle and manipulate the controls of complicated and expensive vehicles and machinery for training and/or entertainment purposes.

[0007] For virtual reality systems to provide a realistic (and therefore effective) experience for the user, sensory feedback and manual interaction should be as natural as possible. In addition to sensing and tracking a user's manual activity and feeding such information to the controlling computer to provide a 3D visual representation to the user, a human interface mechanism should also provide force or tactile ("haptic") feedback to the user. The need for the user to obtain realistic haptic information is extensive in many kinds of simulation and other applications. For example, in medical/surgical simulations, the "feel" of a probe or scalpel simulator is important as the probe is moved within the simulated body. It would be invaluable to a medical trainee to learn how an instrument moves within a body, how much force is required depending on the operation performed, the space available in a body to manipulate an instrument, etc. Other applications similarly benefit from the realism provided by haptic feedback. A "high bandwidth" interface system, which is an interface that accurately responds to signals having fast changes and a broad range of frequencies as well as providing such signals accurately to a control system, is therefore desirable in these and other applications.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

[0008] Several existing devices provide multiple degrees of freedom of motion of an instrument or manipulatable object and include haptic feedback. Many of these devices, however, are limited in how many degrees of freedom that forces are provided, and may also be less accurate and realistic than desired for a particular application. Devices having greater realism yet reasonable cost are desired for medical and other virtual simulation applications.

SUMMARY OF THE INVENTION

[0009] The present invention provides a system for providing a realistic sensation to a user by providing resistance. The system includes an engageable practice tool that the user engages. A mechanical simulation apparatus is coupled to the practice tool and an interface device is coupled to the simulation device. A host computer is coupled to the interface device for implementing an application program. The application program provides signals for a mechanical simulation apparatus to provide resistance to the practice tool based upon sensed positions of the practice tool.

[0010] In accordance with one aspect of the present invention, the practice tool is configured as a practice medical tool.

[0011] In accordance with another aspect of the present invention, the interface device is included within the host computer.

[0012] In accordance with a further aspect of the present invention, the interface device is separate from the host computer.

[0013] In accordance with yet another aspect of the present invention, the interface device comprises a microprocessor local to the mechanical simulation apparatus.

[0014] In accordance with a further aspect of the present invention, the system further includes a barrier between the mechanical simulation apparatus and the user.

[0015] In accordance with another aspect of the present invention, the practice tool is configured as a laparoscopic tool and includes a trocar.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

[0016] In accordance with yet another aspect of the present invention, the practice tool is configured as one of a group comprising catheters, hypodermic needles, wires, fiber optic bundles, styluses, joysticks, screw drivers, pool queues and handgrips.

[0017] In accordance with yet a further aspect of the present invention, the system includes multiple practice tools.

[0018] In accordance with one aspect of the present invention, the mechanical simulation apparatus includes a ground member, a mechanical linkage coupled to the ground member, a linear axis member coupled to the practice tool and the mechanical linkage, at least one actuator coupled to the ground member, and a cable in engagement with at least one actuator and coupled to the mechanical linkage.

[0019] In accordance with another aspect of the present invention, the system includes at least four actuators.

[0020] In accordance with a further aspect of the present invention, the actuators comprise the DC motors.

[0021] In accordance with yet another aspect of the present invention, the system includes at least three cables in various engagement with the at least four actuators.

[0022] In accordance with a further aspect of the present invention, at least one sensor is provided that senses movement of the actuators and/or the mechanical linkage.

[0023] The present invention also provides a method for providing a realistic sensation to a user by providing resistance. The method includes providing an engageable practice tool coupled to a mechanical simulation apparatus comprising a mechanical linkage, at least one actuator, at least one cable in engagement with the at least one actuator and coupled to the mechanical linkage, and a sensor. The method further includes engaging the tool by the user and applying a force to the practice tool by the user. The position of the tool is sensed with the sensor. The position sensed is provided to a host computer that includes an application program, and a signal is provided from the host computer to the at least one actuator to move

WO 03/009069

PCT/US02/22750

the at least one cable and thereby move the mechanical linkage. The signal is based upon the position sensed and the application program.

[0024] Other features and advantages of the present invention will be understood upon reading and understanding the description of the preferred exemplary embodiments, found hereinbelow, in conjunction with reference to the drawings, in which like numerals represent like elements.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0025] Figure 1 is a schematic illustration of the present invention being used for medical simulation purposes;

[0026] Figures 2A and 2B are perspective view of a mechanical simulation apparatus in accordance with the present invention;

[0027] Figures 2C and 2D are elevational views of the base structure and portions of the linkage mechanisms of the mechanical simulation apparatus;

[0028] Figure 2E is a rear view of the mechanical simulation of the apparatus in accordance with the present invention;

[0029] Figure 2F is a top view of the mechanical simulation apparatus in accordance with the present invention;

[0030] Figure 2G is a close up of top surfaces of the mechanical simulation apparatus in accordance with the present invention;

[0031] Figure 3A is a perspective view of a mechanical linkage of the mechanical simulation of the apparatus in accordance with the present invention;

[0032] Figure 3B is a top view of the mechanical linkage;

[0033] Figure 3C is a side view of the mechanical linkage;

WO 03/009069

PCT/US02/22750

- [0034] Figure 3D is a front view of the mechanical linkage;
- [0035] Figure 3E is a bottom view of the mechanical linkage;
- [0036] Figures 4A and 4B are perspective views of the mechanical linkage;
- [0037] Figures 5A-5D are side sectional views of the mechanical linkage;
- [0038] Figures 6A and 6B are bottom and perspective bottom views, respectively of the mechanical linkage;
- [0039] Figures 7A-7C are additional sectional perspective views of the mechanical linkage;
- [0040] Figures 8A and 8B are sectional perspective and front views, respectively, of the mechanical linkage.

DESCRIPTION OF SPECIFIC EXEMPLARY EMBODIMENTS

[0041] Figure 1 illustrates an example of the use of the present invention for medical simulation purposes. A virtual reality system 10 used to simulate a medical procedure includes a human/computer interface apparatus 12, an electronic interface 14, and a host computer 16. The illustrated virtual reality system 10 is directed to a virtual reality simulation of a laparoscopic surgery procedure.

[0042] The handle 26 of a laparoscopic tool 18 used in conjunction with the present invention is manipulated by an operator and virtual reality images are displayed on a display device 20 of a digital processing system in response to such manipulations. For example, when the tool 18 is moved by the user, a graphical representation of the tool or a part of the tool may be moved correspondingly within a graphical environment displayed on device 20. Display device 20 may be a standard display screen or CRT, 3-D goggles, or any other visual

WO 03/009069

PCT/US02/22750

interface. The digital processing system is typically a host computer 16. The host computer can be a personal computer or workstation or other computer device or processor, such as a home video game system commonly connected to a television set, such as systems available from Nintendo, Sega, or Sony; a "set top box" which may be used, for example, to provide interactive television functions to users; an arcade game; a portable computing device, etc. Multiple tools 18, each manipulatable by the user, may also be provided, as in a preferred embodiment described below.

[0043] Host computer 16 implements a host application program with which a user is interacting via peripherals and interface device 14. For example, the host application program may be a video game, medical simulation, scientific analysis program, or even an operating system or other application program that utilizes force feedback. Typically, the host application provides images to be displayed on a display output device, as described below, and/or other feedback, such as auditory signals. The medical simulation example of Figure 1 includes a host medical simulation application program. Suitable software for such applications is available from Immersion Corporation of San Jose, California. Alternatively, display screen 20 may display images from a game application program or other program.

[0044] One example of a human/interface apparatus 12 as illustrated herein is used to simulate a laparoscopic medical procedure. In addition to the handle of a standard laparoscopic tool 18, the human/interface apparatus 12 may include a barrier 22 and a standard laparoscopic trocar 24 (or a facsimile of a trocar). The barrier 22 is used to represent a portion of the skin covering the body of a patient. Trocar 24 is inserted into the body of the virtual patient to provide an entry and removal point from the body of the patient for the laparoscopic tool 18, and to allow the manipulation of the laparoscopic tool. Barrier 22 and trocar 24 may be omitted from apparatus 12 in other embodiments if desired. Preferably, the laparoscopic tool 18 is modified; in one embodiment, the shaft is replaced by a linear axis member, as described below. In other embodiments, the end of the shaft of the tool (such as any cutting edges) may be removed. The distal end of the laparoscopic tool 18 may not be required for the virtual reality simulation.

[0045] The laparoscopic tool 18 includes a handle or "grip" portion 26 and a shaft portion 28. The shaft portion is an elongated mechanical object, described in greater detail below. In one embodiment, the present invention is concerned with tracking the movement of the shaft

WO 03/009069

PCT/US02/22750

portion 28 in three-dimensional space, e.g. four degrees of freedom. The shaft 28 is constrained at some point along its length such that it may move with four degrees of freedom within the simulated patient's body.

[0046] A mechanical apparatus 25 for interfacing mechanical input and output is shown within the "body" of the patient in phantom lines. When an interaction is simulated on the computer, the computer will send feedback signals to the tool 18 and mechanical apparatus 25, which has actuators for generating forces in response to the position of the virtual laparoscopic tool relative to surfaces or features displayed on the computer display device. Mechanical apparatus 25 is described in greater detail below. Signals may be sent to and from apparatus 25 via interface 30, which may be similar to interface 72 described below.

[0047] While one embodiment of the present invention will be discussed with reference to the laparoscopic tool 18, it will be appreciated that a great number of other types of objects may be used with the method and apparatus of the present invention. In fact, the present invention may be used with any mechanical object where it is desirable to provide a human/computer interface with one to six degrees of freedom. Such objects may include endoscopic or other similar surgical tools used in medical procedures, catheters, hypodermic needles, wires, fiber optic bundles, styluses, joysticks, screw drivers, pool cues, hand grips, etc.

[0048] The electronic interface 14 is a component of the human/computer interface apparatus 12 and may couple the apparatus 12 to the host computer 16. Electronic interface 14 may be included within a housing of mechanical apparatus 25, within host computer 16, or may be provided as a separate unit. More particularly, interface 14 is used in preferred embodiments to couple the various actuators and sensors of apparatus 25 (described in detail below) to computer 16. In some embodiments, the interface may include a microprocessor local to the apparatus 25 to handle sensor data and actuator control. Suitable electronic configurations are described, for example, in U.S. Patent Nos. 5,623,582; 5,821,920; 5,731,804; 5,734,373; 5,828,197; and 6,024,576, all of which are incorporated herein by reference.

[0049] Signals may be sent to and from interface 14 and computer 16 by a standard interface 32 (RS-232, USB, Firewire, serial, parallel, etc.) or by wireless transmission and

WO 03/009069

PCT/US02/22750

reception. In various embodiments of the present invention, interface 14 may serve solely as an input device for the computer 16, solely as an output device for the computer 16, or as an input/output (I/O) device for the computer 16. The interface 14 may also receive inputs from other input devices or controls that are associated with apparatus 12 and may relay those inputs to computer 16. For example, commands sent by the user activating a button on apparatus 12 may be relayed to computer 16 to implement a command or cause the computer 16 to output a command to the apparatus 12.

[0050] In Figures 2A and 2B, perspective views of mechanical apparatus 25 for providing mechanical input and output in accordance with the present invention are shown. Apparatus 25 may include two or more tools 18 (only one is shown) to allow a user to realistically simulate an actual surgical procedure using laparoscopic instruments. A user may manipulate each of the tools 18 independently, where each tool is independently sensed and actuated in the present invention.

[0051] Each tool 18 is coupled to a linear axis member 40, which is coupled to a mechanical linkage 38, which will be described in more detail below. The user object 44, such as a handle, is preferably coupled to linear axis member 40. The mechanical linkage is grounded via a base structure 46. The actuators, such as DC motors, which output the forces on each linear axis member 40 and tool 18, are in the described embodiment located within the base structure 46, and are therefore all grounded. This configuration allows high fidelity and efficient haptic feedback to be produced with the apparatus 25. The actuators may also include sensors which sense the rotation of the actuators and thus, detect the motion of the tool in the four degrees of freedom. In other embodiments, sensors may be coupled to parts of the linkage 38 to sense the motion of the tool more directly.

[0052] In the described embodiment, each linear axis member 40 / tool 18 may be moved in four degrees of freedom, shown as the insert degree of freedom 50, the twist degree of freedom 52, the first rotation (yaw) 54, and the second rotation (pitch) 56. Other embodiments may limit the degrees of freedom to a lesser number, or provide additional degrees of freedom.

[0053] Figures 2C and 2D further illustrate the base structure 46 and portions of the linkage mechanisms 38 that are rotatably coupled to the base structure.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

[0054] Figure 2E illustrates a rear view of the apparatus 25 showing many of the actuators and some of the sensors of the described embodiment. A rotary actuator 62, such as a DC motor, drives the insert degree of freedom 50, a rotary actuator 64 drives the yaw degree of freedom 54, and a rotary actuator 66, positioned behind actuator 64 in Fig. 2E, drives the twist degree of freedom 52. An actuator-sensor pair 70 drives the pitch degree of freedom 56.

[0055] Figure 2F illustrates a top view of the apparatus 25 and FIGURE 2g is a close up of the top surfaces of the apparatus. A pulley 72 is coupled to actuator 62 and has a cable 160 wrapped around it. A pulley 74 is coupled to the actuator 64 and has a cable 106 wrapped around it. A pulley 76 is coupled to the actuator 66 and has a cable 130 wrapped around it. These cables are described in greater detail below. The cables are all routed to the mechanical linkage 38 through an aperture 77 in the side of the base structure; in the described embodiment, the cables may each be wrapped around its own central spindle 78 before being routed to their respective pulleys 72, 74, or 76. In the described embodiment, a sensor 65 senses the motion of the shaft of actuator 64, a sensor 67 senses the motion of the spindle 78 connected to the shaft of actuator 62, and a sensor 69 senses the motion of the shaft of actuator 66. The sensors are optical encoders having emitters and detectors sensing marks on an encoder wheel coupled to the pulley or spindle, as shown. In the described embodiment, the sensor for the pitch degree of freedom 56 is provided on the housing of actuator/sensor 70 to measure the actuator shaft rotation directly.

[0056] Other types of sensors and actuators, which essentially serve as transducers for the system, may be used in other embodiments, such as analog potentiometers, Polhemus (magnetic) sensors, lateral effect photo diodes, etc. Alternatively, sensors may be positioned at other locations of relative motion or joints of mechanical apparatus 25. It should be noted that the present invention may utilize both absolute and relative sensors. The actuators may also be of various types, such as active actuators and/or passive actuators. Active actuators may include linear current control motors, stepper motors, pneumatic/hydraulic active actuators, stepper motor, brushless DC motors, pneumatic/hydraulic actuators, a torquer (motor with limited angular range), a voice coil, and other types of actuators that transmit a force to move an object. Passive actuators may also be used. Magnetic particle brakes, friction brakes, or pneumatic/hydraulic passive actuators may be used in addition to or instead of a motor to generate a damping resistance or friction in a degree of motion. In

WO 03/009069

PCT/US02/22750

addition, in some embodiments, passive (or "viscous") damper elements may be provided on the bearings of apparatus 25 to remove energy from the system and intentionally increase the dynamic stability of the mechanical system. In other embodiments, this passive damping may be introduced by using the back electromotive force (EMF) of the actuators to remove energy from the system. In addition, in the voice coil embodiments, multiple wire coils may be provided, where some of the coils may be used to provide back EMF and damping forces.

[0057] The actuators and sensors are decoupled, meaning that these transducers are directly coupled to ground member 46 which is coupled to a ground surface 47, i.e. the ground surface carries the weight of the transducers, not the user handling tool 18. The weights and inertia of the transducers are thus substantially negligible to a user handling and moving the tool. This provides a more realistic interface to a virtual reality system, since the computer may control the transducers to provide substantially all of the forces felt by the user in these degrees of motion. In contrast, in typical prior art arrangements of multi-degree of freedom interfaces, one actuator "rides" upon another actuator in a serial chain of links and actuators. This low bandwidth arrangement causes the user to feel the inertia of coupled actuators when manipulating an object.

[0058] Optionally, additional transducers may be added to apparatus 25 to provide additional degrees of freedom for the tool 18. For example, a transducer may be added to the grip of laparoscopic tool 18 to sense and/or output forces to the degree of freedom provided by the user moving two portions of a tool 18 relative to each other to simulate extending the cutting blade of the tool, for example.

[0059] Figures 3A (perspective view), 3B (top view), 3C (side view), 3D (front view), and 3E (bottom view) illustrate the mechanical linkage 38 of the apparatus 25. The linkage 38 is rotatably coupled to the base structure 46 to allow the second rotation 56, where cables from various moving parts of the linkage 38 extend to the actuators of the base structure, as detailed below. Linear axis member 40 may be moved relative to the linkage 38 to provide two degrees of freedom 50 and 52, and moves with portions of the linkage to provide two other degrees of freedom 54 and 56.

[0060] Figure 4A and 4B shows a perspective view of mechanical linkage 38. The second rotation (pitch) 56 is provided by a mechanical bearing positioned between the linkage 38 and

WO 03/009069

PCT/US02/22750

the base structure 46. To provide forces in the second rotation 56 from grounded actuator 70, a capstan drive 80 may be a mechanical transmission transmitting forces from the actuator to the linkage 38. A capstan pulley 82 may be rigidly coupled to the rotating shaft 71 of the actuator 70, where the pulley has an axis of rotation parallel to the axis of rotation A of the linkage 38 for the degree of freedom 56 and the pulley is positioned adjacent to a drum 84 that is rigidly coupled to the linkage 38 as shown. A cable 86 is connected at one end of the drum 84, routed along the edge of the drum, around the pulley 82 one or more times, and is routed along the remaining edge of the drum to its other side. The cable may be tensioned using tensioning nut 88, for example. Other types of transmissions may be used in other embodiments, e.g. gears, friction wheels, belt drives, etc.

[0061] The first rotation (yaw) 54 of linkage 38 is provided by a different cable drive 100. Cable drive 100 includes a drum 102 which is rigidly coupled to linkage member 110, which rotates about degree of freedom 54 about axis B with respect to linkage member 112. Two idler pulleys 104a and 104b are rotatably coupled to linkage member 112 and rotating about axes parallel to axis B. A cable 106, shown as a dashed line, is routed from one end of drum 102, around idler pulley 104a, through the linkage member 38 and out to the base structure and driven pulley 74 of actuator 64, where it is wrapped multiple times. The cable then is routed back into and through the linkage 38, around the idler pulley 104b, and along the edge of drum 102 to the tensioner 114. This configuration allows the actuator to rotate the linkage member 110 by pulling the desired side of the drum 102 with the cable 106.

[0062] Figures 5A, 5B, 5C, and 5D are other side sectional views of the linkage 38, where examples of extremes of rotation of the linkage member 110 with respect to the linkage member 112 are shown. The motion may be limited by stops provided in the path of movement of the drum 102. For example, as shown in Figure 5A, an opening 118 may be placed in the drum 102. A stop member 120, such as a cylinder, may be coupled to the linkage member 112 and positioned within the opening 118, so that the stop member 120 will engage the ends of the opening 118 to provide the limits of motion of the drum.

[0063] Figures 6A and 6B are bottom and perspective bottom views, respectively, of the linkage mechanism 38. To allow forces to be output in the twist degree of freedom 52, a first end of cable 130 (represented by a dashed line) is routed from directly-driven pulley 76 of the actuator 66 in the base structure 46 and through the linkage mechanism 38. The cable 130 is

WO 03/009069

PCT/US02/22750

routed around an idler pulley 132, around another idler pulley 134, and around another idler pulley 136. The cable 130 is then wrapped counterclockwise (as viewed in Fig. 6a) around a rotatable drum 138 and connected to the drum at a point 140 (point 140 may be located elsewhere in other embodiments). The other, second end of the cable 130 is also connected to the drum 138 at point 140 and may be wrapped counterclockwise (as viewed in Fig. 6a) on the remaining side around the drum 138 to the pulley 142. Cable 130 is routed from the second end around idler pulley 142 and then idler pulley 144, where idler pulley 144 and idler pulley 134 are positioned adjacent to each other and have the same axis of rotation. Cable 130 is then routed around idler pulley 146, which is positioned adjacent to and has the same axis of rotation as pulley 132. The cable 130 is then routed through the linkage member 38, both ends represented by line 130, to the actuator 66 in the base structure, where it is wrapped multiple times around the pulley 76 directly driven by the actuator 66.

[0064] In operation, the actuator 66 may rotate the drum 138 in either direction, thereby rotating the linear axis member 40 and tool 18. When the actuator shaft is rotated in one direction, the first end of cable 130 around pulley 136 is pulled, causing the drum to rotate about center point 170 in the corresponding direction. When the actuator shaft is rotated in the opposite direction, the second end of cable 130 is pulled around pulley 142, causing the drum to rotate about central point 170 in its other direction.

[0065] To allow forces to be output in the linear insert degree of freedom 50, a first end of cable 160 (represented by dashed line in Fig. 6a) is routed from directly-driven pulley 72 of actuator 62 in the base structure 46 through the linkage mechanism 38. The cable 160 is routed around idler pulley 162, around idler pulley 164, and then around idler pulley 166. This first end 161 of cable 160 is then routed around pulley 169 (shown in Fig. 7a) and is coupled to the linear axis member 40. The second end 162 of the cable 160 is coupled to the linear axis member 40 on the other side of the central pivot point 170. The cable 160 is routed from the second end, around pulley 168, around pulley 172 which is adjacent to and rotates about the same axis as pulley 164, and around pulley 174 which is adjacent to and rotates about the same axis as pulley 162. The cable is then routed through the linkage mechanism 38 to the pulley 72 driven by the actuator 62, where it is wrapped multiple times.

[0066] In operation, the actuator 62 may rotate its driven pulley in either direction to correspondingly pull on the first end or the second end of the cable 160. If the first end is

WO 03/009069

PCT/US02/22750

pulled, a downward force on the linear axis member 40 (as oriented in Fig. 3) is output, while if the second end is pulled, an upward force on the linear axis member is output.

[0067] Figures 7A-7C are additional sectional perspective views of the linkage mechanism 38 and the cables and pulleys described above, illustrating the mechanism of the insert degree of freedom 50.

[0068] Figures 8A and 8B are sectional perspective and front views of the linkage mechanism 38 showing features described above.

[0069] Thus, the mechanism of the present invention preferably provides four grounded actuators to provide forces in four degrees of freedom of the tool 18. To make the actuators grounded, cables are used to allow the actuators to output forces to a remote mechanical motion, i.e. the rotated drums or moved linear axis member is located far from the driven pulley, unlike standard capstan drives. The three cables (six ends) routed through the interior of the mechanical linkage and out to the base structure are bent in various ways around idler pulleys and about their lengthwise axes; however, this does not cause significant stretching in the cables. The six ends of the cables are preferably arranged close together close to the pitch axis A so as to minimize bending of the cables. For example, the six cable lengths may be arranged so that their cross sections approximately form a circle around the rotation axis A.

[0070] While this invention has been described in terms of several preferred embodiments, it is contemplated that alterations, modifications and permutations thereof will become apparent to those skilled in the art upon a reading of the specification and study of the drawings. For example, the linked members of apparatus 25 may take a number of actual physical sizes and forms while maintaining the disclosed linkage structure. Likewise, other types of gimbal mechanisms or different mechanisms providing multiple degrees of freedom may be used with the drive mechanisms disclosed herein to reduce inertia, friction, and backlash in a system. A variety of devices may also be used to sense the position of an object in the provided degrees of freedom and to drive the object along those degrees of freedom. In addition, the sensor and actuator used in the transducer system having desired play may take a variety of forms. Similarly, other types of couplings may be used to provide the desired play between the object and actuator. Furthermore, certain terminology has been used for the purposes of descriptive clarity, and not to limit the present invention.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A system for providing a realistic sensation to a user by providing resistance, the system comprising:
 - an engageable practice tool that the user engages;
 - a mechanical simulation apparatus comprising a mechanical linkage coupled to the practice tool;
 - an interface device coupled to the simulation device; and
 - a host computer coupled to the interface device for implementing an application program, the application program providing signals for the actuator to move the mechanical linkage.
2. A system in accordance with claim 1 wherein the practice tool is configured as a practice medical tool.
3. A system in accordance with claim 1 wherein the interface device is included within one of the host computer and the mechanical simulation apparatus.
4. A system in accordance with claim 1 wherein the interface device is separate from the host computer and the mechanical simulation apparatus.
5. A system in accordance with claim 1 wherein the interface device comprises a microprocessor local to the mechanical simulation apparatus.
6. A system in accordance with claim 1 wherein the system further comprises a barrier between the mechanical simulation apparatus and the user.
7. A system in accordance with claim 1 wherein the practice tool is configured as a laparoscopic tool and includes a trocar.
8. A system in accordance with claim 1 wherein the practice tool is configured as one of a group comprising catheters, hypodermic needles, wires, fiber optic bundles, styluses, joysticks, screw drivers, pool cues and hand grips.
9. A system in accordance with claim 1 wherein the system comprises multiple practice tools.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

10. A system in accordance with claim 1 wherein mechanical simulation apparatus comprises:
- a ground member;
 - a mechanical linkage coupled to the ground member;
 - a linear axis member coupled to the practice tool and the mechanical linkage;
 - at least one actuator coupled to the ground member; and
 - a cable in engagement with the at least one actuator and coupled to the mechanical linkage.
11. A system in accordance with claim 10 wherein the system comprises at least four actuators.
12. A system in accordance with claim 11 wherein the at least four actuators comprise DC motors.
13. A system in accordance with claim 11 wherein the system comprises at least three cables in various engagement with the at least four actuators.
14. A system in accordance with claim 10 further comprising at least one sensor that senses movement of at least one of the at least one actuator and the mechanical linkage.
15. A system in accordance with claim 10 further comprising at least four sensors that sense movement of at least one of the at least four actuators and the mechanical linkage.
16. A system for providing a realistic sensation by providing resistance to a user, the system comprising:
- an engageable practice tool that the user engages;
 - a mechanical simulation apparatus coupled to the practice tool, the mechanical simulation apparatus comprising:
 - a ground member;
 - a mechanical linkage rotatably coupled to the ground member;

WO 03/009069

PCT/US02/22750

a linear axis member coupled to the practice tool and the mechanical linkage;

at least four actuators coupled to the ground member;

at least one sensor for sensing movement of at least one of the actuators and the mechanical linkage; and

at least three cables in contact with the at least four actuators and coupled to the mechanical linkage;

an interface device coupled to the simulation apparatus; and

a host computer coupled to the interface device for implementing an application program, the application program providing signals for the actuators to move the cables and thereby move the mechanical linkage.

17. A system in accordance with claim 16 wherein the practice tool is configured as a practice medical tool.

18. A system in accordance with claim 16 wherein the interface device is included within one of the host computer and the mechanical simulation apparatus.

19. A system in accordance with claim 16 wherein the interface device is separate from the host computer and the mechanical simulation apparatus.

20. A system in accordance with claim 16 wherein the at least four actuators comprise DC motors.

21. A system in accordance with claim 16 wherein the interface device comprises a microprocessor local to mechanical simulation apparatus.

22. A system in accordance with claim 16 wherein the system further comprises a barrier between the mechanical simulation apparatus and the user.

23. A system in accordance with claim 16 wherein the practice tool is configured as a laparoscopic tool and includes a trocar.

24. A system in accordance with claim 16 wherein the practice tool is configured as one of a group comprising catheters, hypodermic needles, wires, fiber optic bundles, styluses, joysticks, screw drivers, pool cues and hand grips.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

25. A system in accordance with claim 16 wherein the system comprises multiple practice tools.

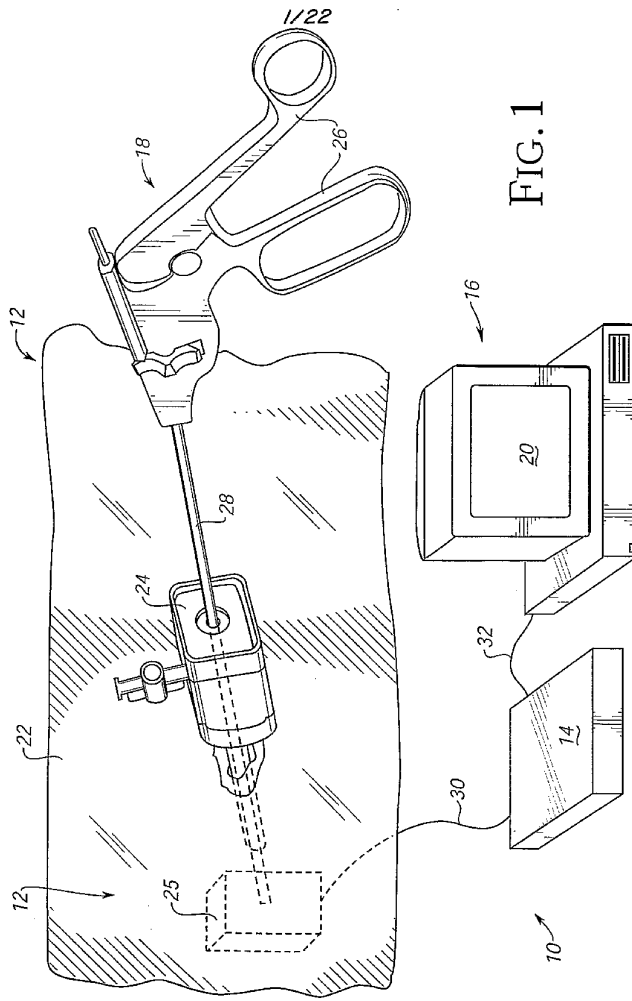
26. A method for providing a realistic sensation to a user by providing resistance, the method comprising:
providing an engageable practice tool coupled to a mechanical simulation apparatus comprising a mechanical linkage, at least one actuator, at least one cable in engagement with the at least one actuator and coupled to the mechanical linkage, and a sensor;

engaging the tool by the user;
applying a force to the practice tool by the user;
sensing a position of the tool with the sensor;
providing the position sensed to a host computer that includes an application program; and
providing a signal from the host computer to the at least one actuator to move the at least one cable and thereby move the mechanical linkage, the signal being based upon the position sensed and the application program.

27. A method in accordance with claim 26 wherein the mechanical simulation apparatus comprises at least four actuators, and at least three cables in various engagement with the at least four actuators and coupled to the mechanical linkage, and wherein the signal is provided from the host computer for at least one of the at least four actuators to move the at least one of the at least three cables and thereby move the mechanical linkage, the signal being based upon the position sensed and the application program.

WO 03/009069

PCT/US02/22750



WO 03/009069

PCT/US02/22750

2/22

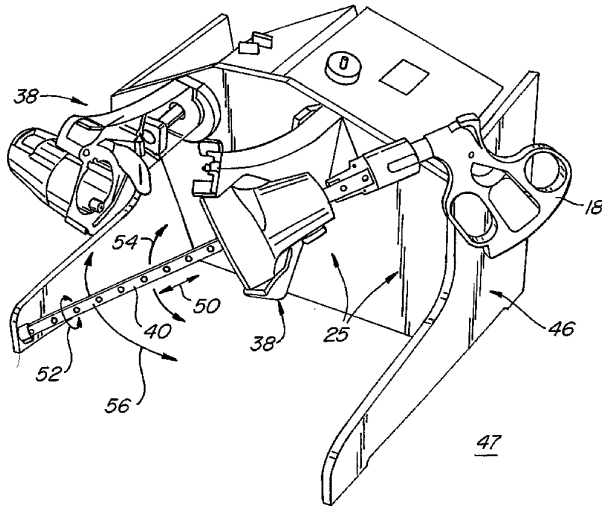


FIG. 2A.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

3/22

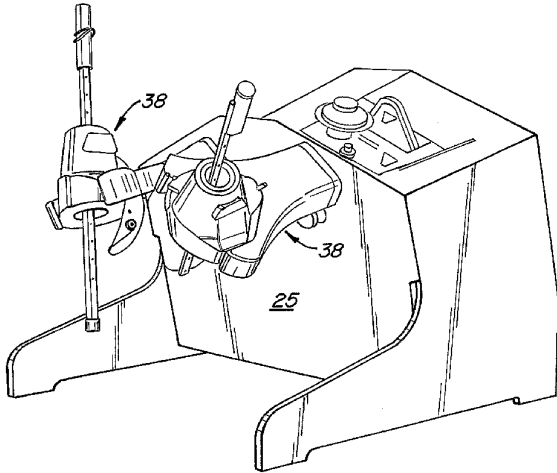


FIG. 2B.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

4/22

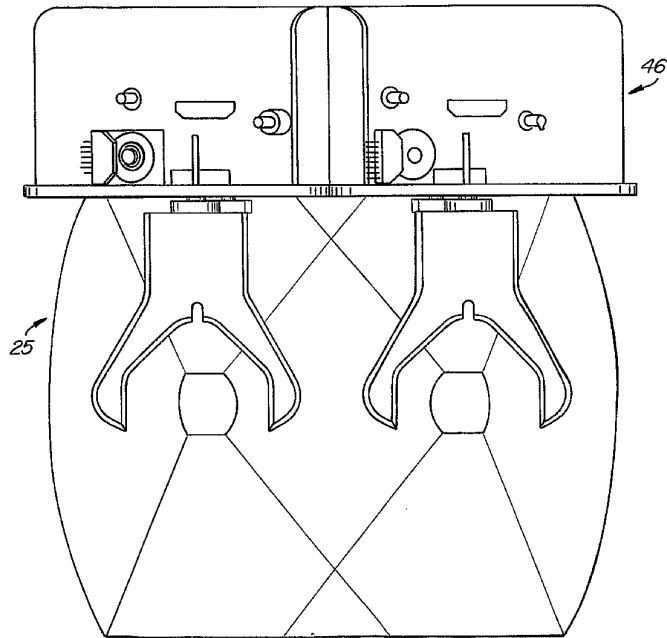


FIG. 2C.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

5/22

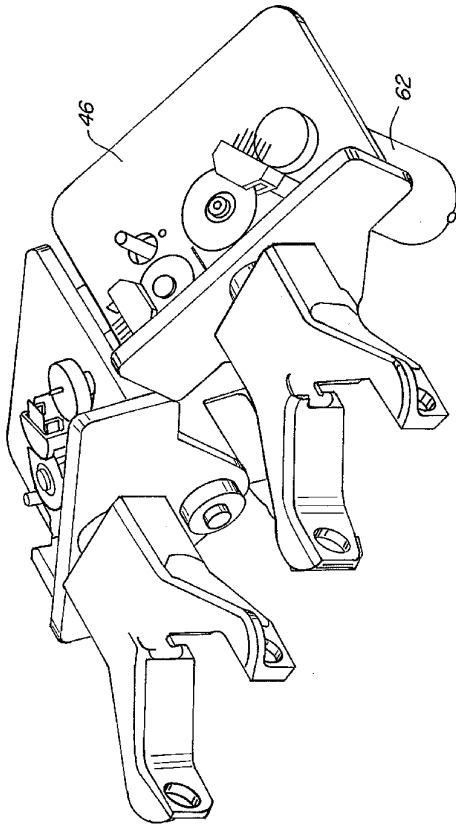


FIG. 2D.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

6/22

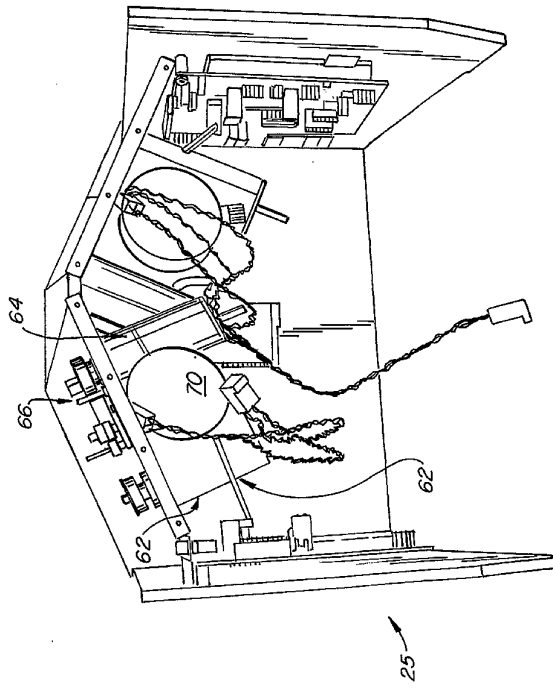


FIG. 2E.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

7/22

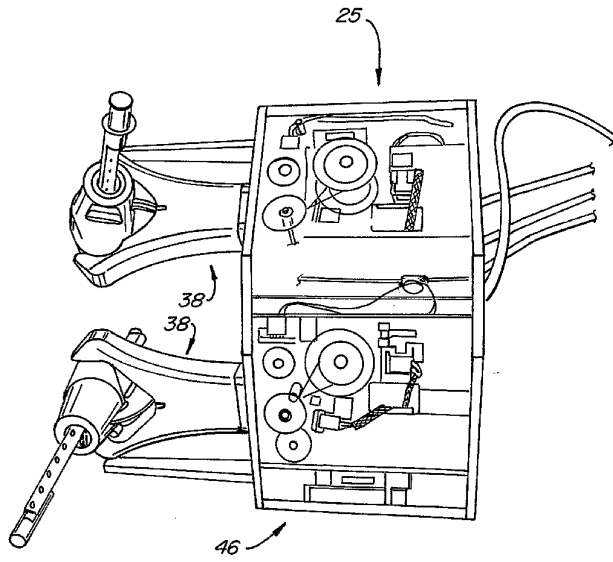


FIG. 2F.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

8/22

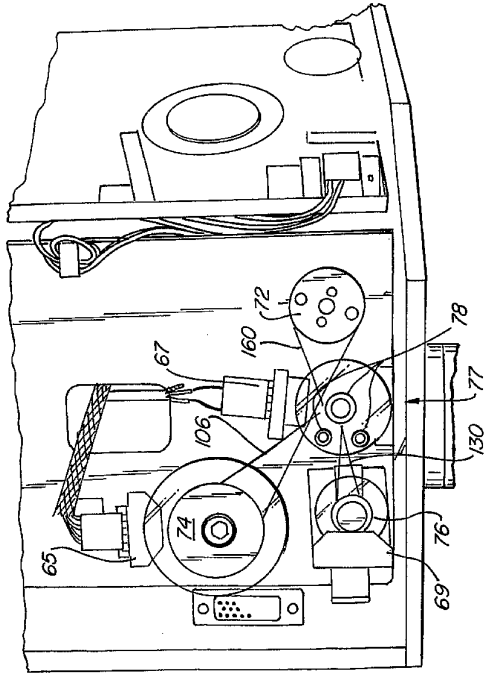
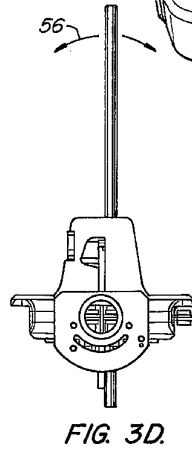
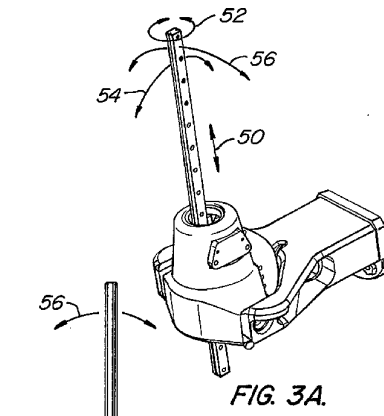
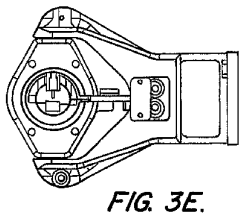
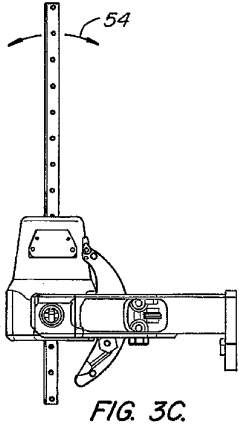
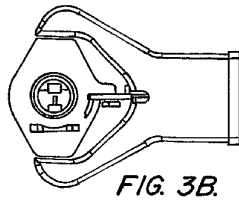


FIG. 26

WO 03/009069

PCT/US02/22750

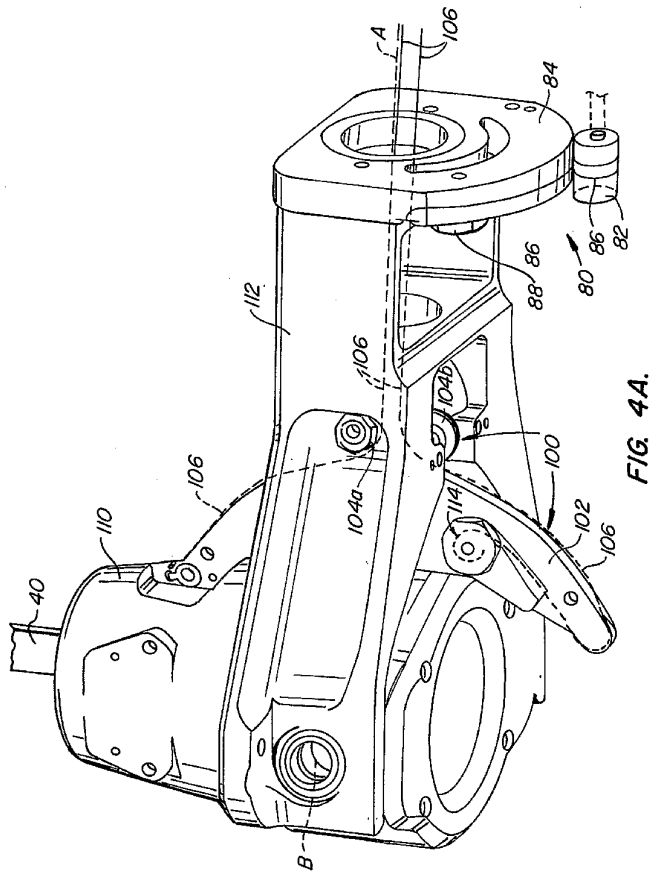
9/22



WO 03/009069

PCT/US02/22750

10/22



WO 03/009069

PCT/US02/22750

11/22

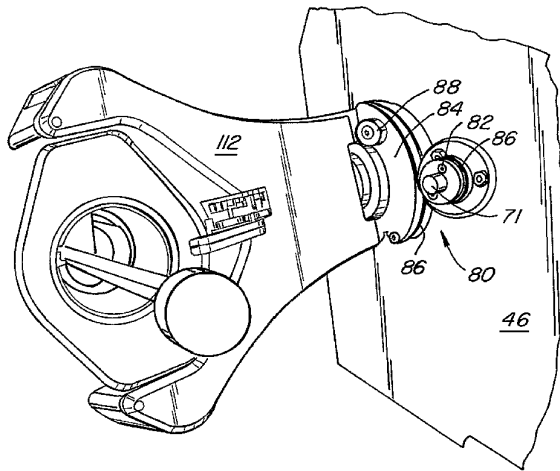


FIG. 4B.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

12/22

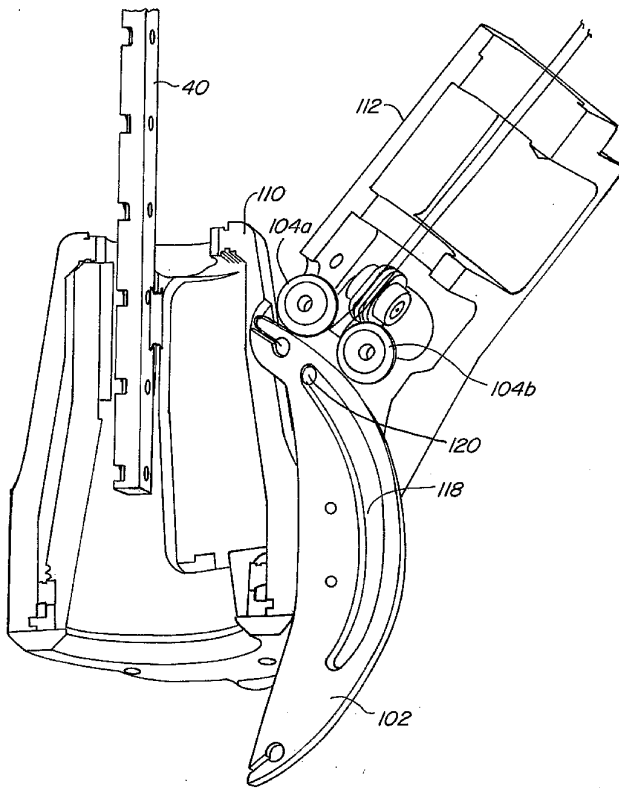
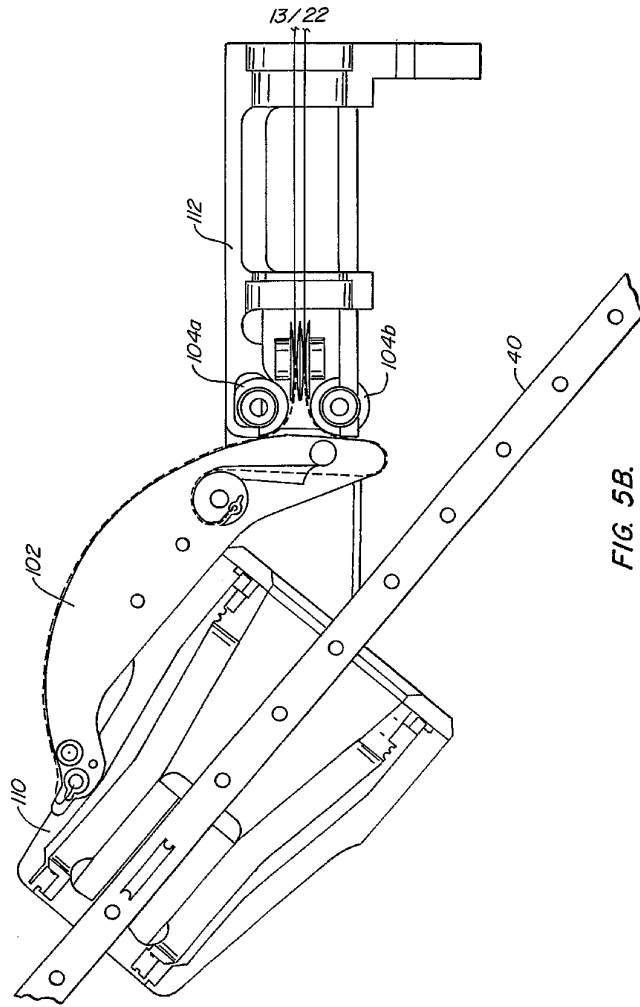


FIG. 5A.

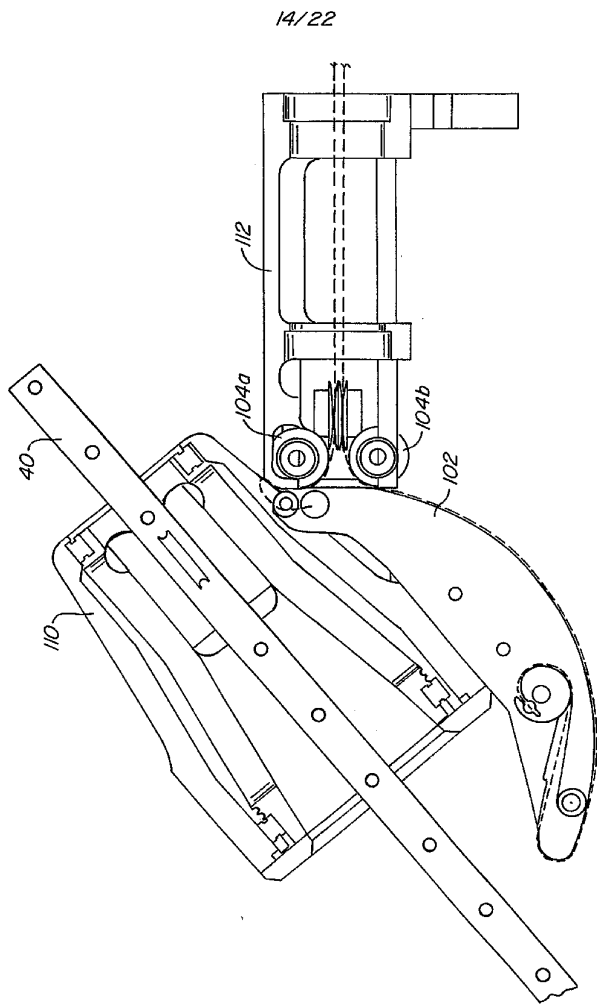
WO 03/009069

PCT/US02/22750



WO 03/009069

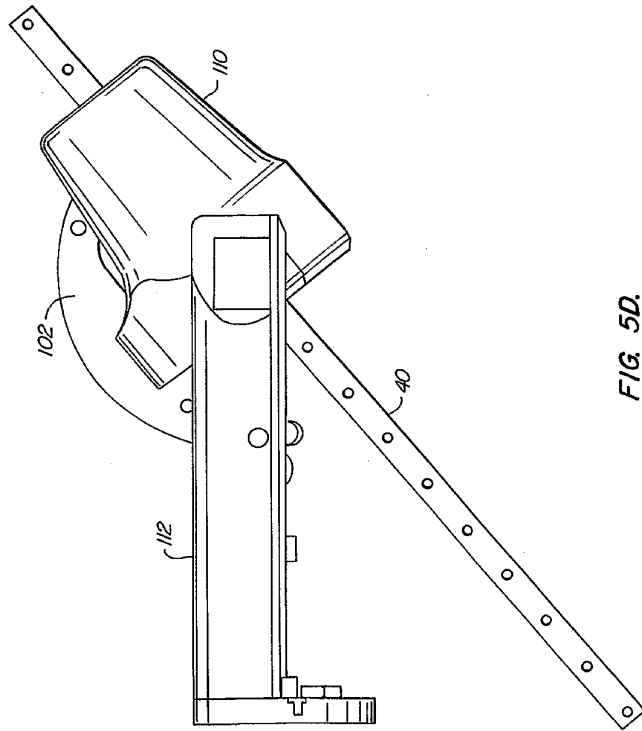
PCT/US02/22750



WO 03/009069

PCT/US02/22750

15/22



WO 03/009069

PCT/US02/22750

16/22

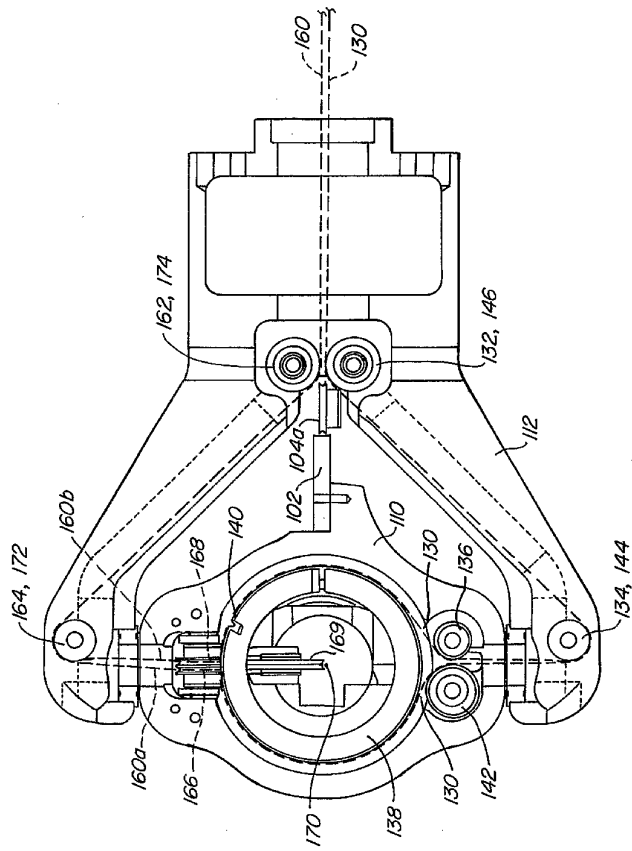
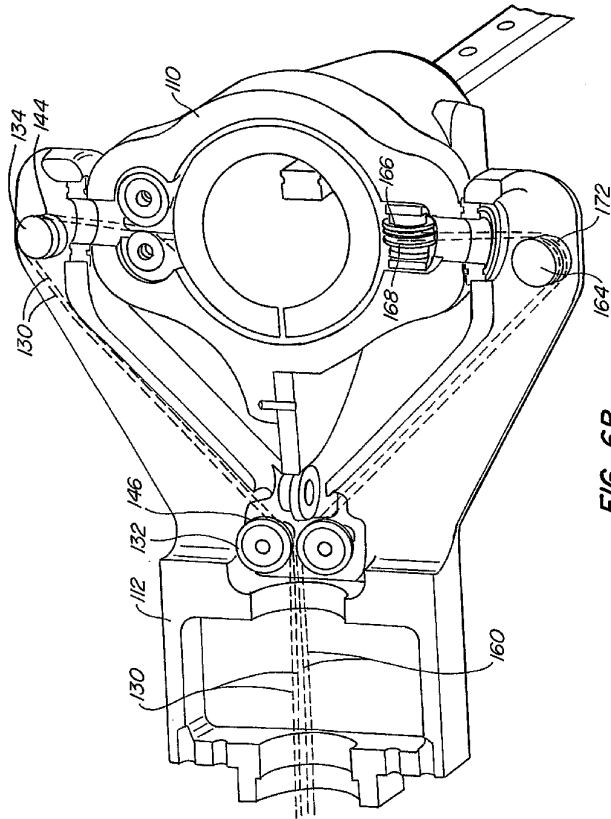


FIG. 6A.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

17/22



WO 03/009069

PCT/US02/22750

18/22

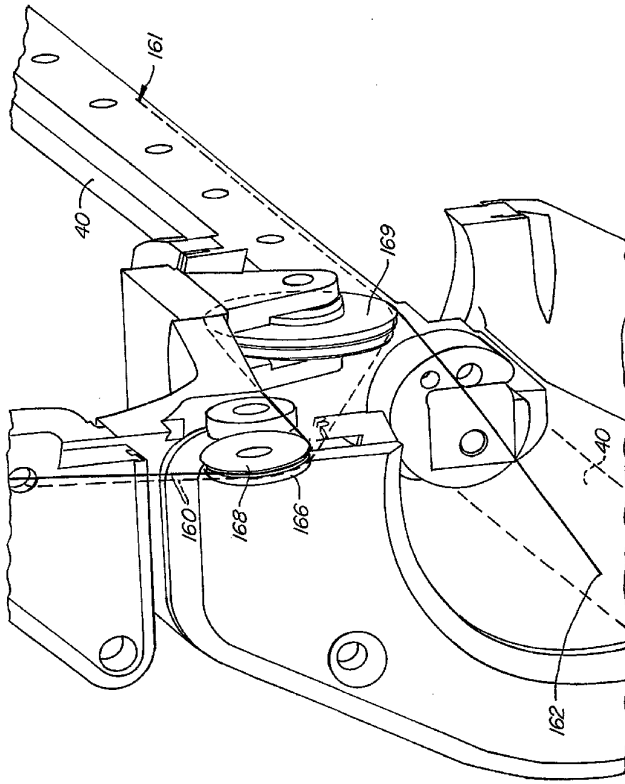


FIG. 7A.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

19/22

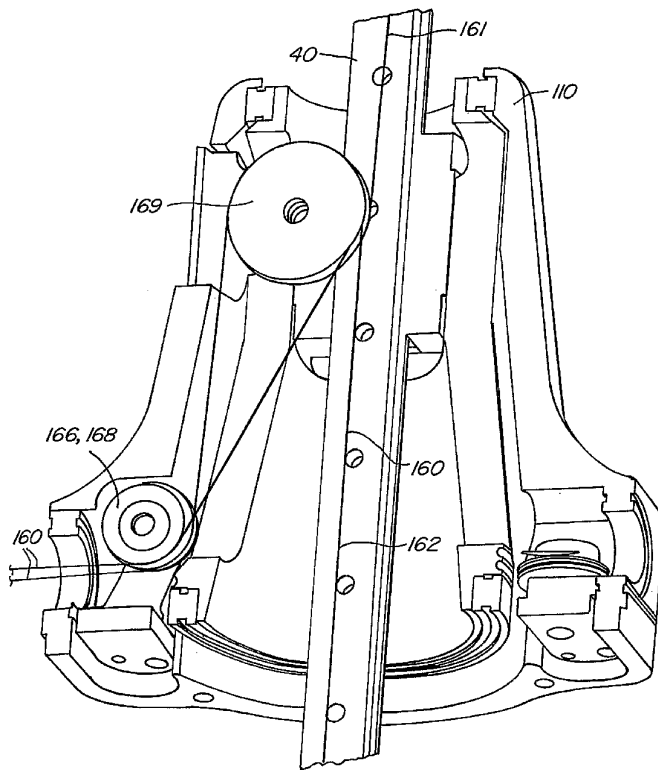
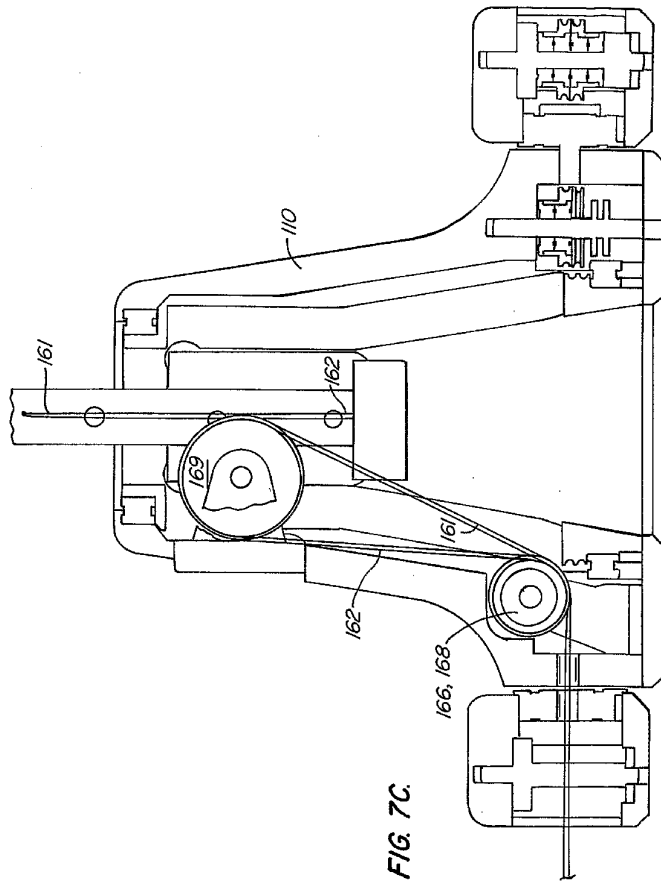


FIG. 7B.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

20/22



WO 03/009069

PCT/US02/22750

21/22

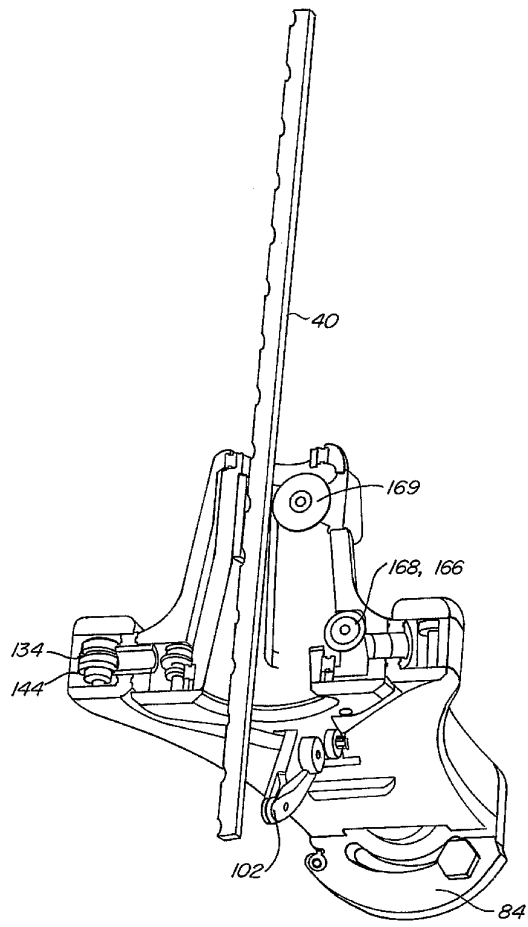


FIG. 8A.

WO 03/009069

PCT/US02/22750

22/22

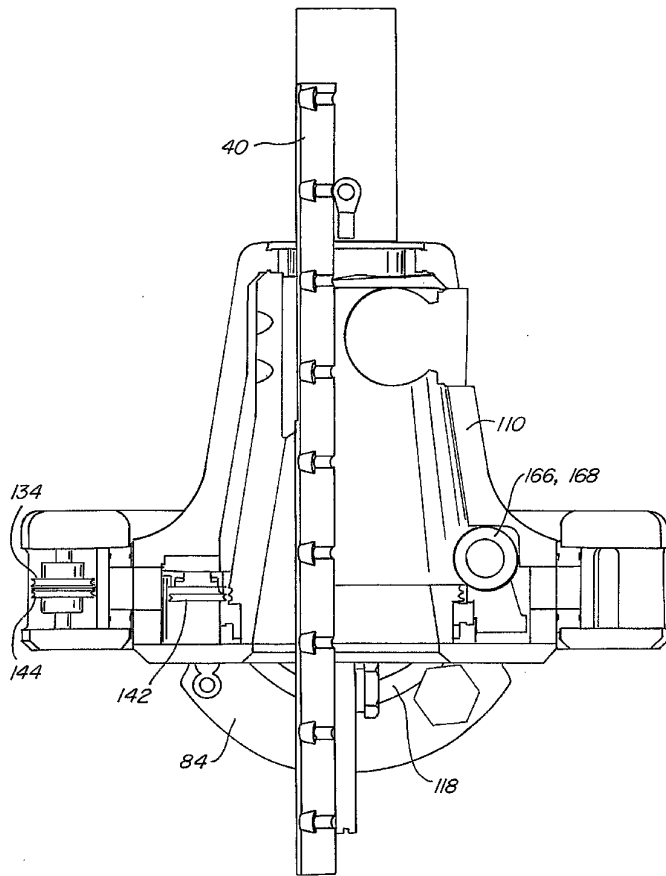


FIG. 8B.

【国際公開パンフレット（コレクトバージョン）】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

CORRECTED VERSION

(19) World Intellectual Property
Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
30 January 2003 (30.01.2003)

PCT

(10) International Publication Number
WO 2003/009069 A1

(51) International Patent Classification: **G05B 11/00**

(21) International Application Number:
PCT/US2002/022750

(22) International Filing Date: 16 July 2002 (16.07.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
60/305,957 16 July 2001 (16.07.2001) US
10/196,563 15 July 2002 (15.07.2002) US

OLIEN, Neil, T. [US/US]; 801 Fox Lane, San Jose, CA 95131 (US). BAILEY, David, W. [US/US]; 801 Fox Lane, San Jose, CA 95131 (US). VASSALLO, Steven, P. [US/US]; 801 Fox Lane, San Jose, CA 95131 (US).

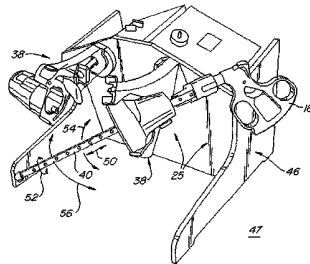
(74) Agent: ALEMANNI, John, C.; Kilpatrick Stockton LLP, 1001 West Fourth Street, Winston-Salem, NC 27101 (US).

(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continued on next page]

(54) Title: INTERFACE APPARATUS WITH CABLE-DRIVEN FORCE FEEDBACK AND FOUR GROUNDED ACTUATORS



(57) Abstract: A system for providing realistic sensation within a simulation system by providing tactile (haptic) feedback to a user. The system includes an engageable practice tool that the user engages and a mechanical simulation apparatus coupled to the practice tool. The mechanical simulation apparatus includes a ground member (46), a mechanical linkage (38) rotatably coupled to the ground member (47), a linear axis member coupled to the practice tool and the mechanical linkage (38), at least four actuators (62, 64, 66, 70) coupled to the ground member, sensors (65, 67, 69) for sensing movement of the actuators, and at least three cables in contact with the at least four actuators (65, 64, 66, 70) and coupled to the mechanical linkage (38). An interface device is coupled to the simulation apparatus and a host computer (20) is coupled to the interface device (14) for implementing an application program. The application program provides signals for the actuators (62, 64, 66, 70) to move the cables (130) and thereby move the mechanical linkage (38).

WO 2003/009069 A1

WO 2003/009069 A1 **Declaration under Rule 4.17:**

— of inventorship (Rule 4.17(iv)) for US only

(15) Information about Correction:

see PCT Gazette No. 19/2004 of 6 May 2004, Section II

Published:

— with international search report

(48) Date of publication of this corrected version:

6 May 2004

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/22750																											
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : G05B 10/00, 19 US CL : 700/258, 245 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																													
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 700/258, 245 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched WEST Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) IBEE, INTERNET																													
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category *</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>US 3,923,166 A (FLETCHER et al.) 02 DECEMBER 1975 (02.12.1975), FIGS. 1, 2 columns 2-5</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 5,217,003 A (WILK) 08 JUNE 1993 (08.06.1993), see entire document</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5,598,269 A (KITAIEVICH et al.) 28 JANUARY 1997 (28.01.1997),</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 5,609,560 A (ICHIKAWA et al.) 11 MARCH 1997 (11.03.1997), see entire document</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 5,871,017 A (MAYER) 16 FEBRUARY 1999 (06.02.1999), see entire document</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5,967,980 A (FERRE et al.) 19 OCTOBER 1999 (19.10.1999), see entire document</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 5,971,976 A (WANT et al.) 26 October 1999 (26.10.1999), see entire document</td> <td>1-27</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 6,006,127 A (WAN DER BRUG et al.) 21 DECEMBER 1999 (21.12.1999), see entire document</td> <td>1-27</td> </tr> </tbody> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	Y	US 3,923,166 A (FLETCHER et al.) 02 DECEMBER 1975 (02.12.1975), FIGS. 1, 2 columns 2-5	1-27	Y	US 5,217,003 A (WILK) 08 JUNE 1993 (08.06.1993), see entire document	1-27	A	US 5,598,269 A (KITAIEVICH et al.) 28 JANUARY 1997 (28.01.1997),	1-27	Y	US 5,609,560 A (ICHIKAWA et al.) 11 MARCH 1997 (11.03.1997), see entire document	1-27	Y	US 5,871,017 A (MAYER) 16 FEBRUARY 1999 (06.02.1999), see entire document	1-27	A	US 5,967,980 A (FERRE et al.) 19 OCTOBER 1999 (19.10.1999), see entire document	1-27	Y	US 5,971,976 A (WANT et al.) 26 October 1999 (26.10.1999), see entire document	1-27	Y	US 6,006,127 A (WAN DER BRUG et al.) 21 DECEMBER 1999 (21.12.1999), see entire document	1-27
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																											
Y	US 3,923,166 A (FLETCHER et al.) 02 DECEMBER 1975 (02.12.1975), FIGS. 1, 2 columns 2-5	1-27																											
Y	US 5,217,003 A (WILK) 08 JUNE 1993 (08.06.1993), see entire document	1-27																											
A	US 5,598,269 A (KITAIEVICH et al.) 28 JANUARY 1997 (28.01.1997),	1-27																											
Y	US 5,609,560 A (ICHIKAWA et al.) 11 MARCH 1997 (11.03.1997), see entire document	1-27																											
Y	US 5,871,017 A (MAYER) 16 FEBRUARY 1999 (06.02.1999), see entire document	1-27																											
A	US 5,967,980 A (FERRE et al.) 19 OCTOBER 1999 (19.10.1999), see entire document	1-27																											
Y	US 5,971,976 A (WANT et al.) 26 October 1999 (26.10.1999), see entire document	1-27																											
Y	US 6,006,127 A (WAN DER BRUG et al.) 21 DECEMBER 1999 (21.12.1999), see entire document	1-27																											
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.																													
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claims to which is cited in establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "-" later documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																													
Date of the actual completion of the international search 20 November 2002 (20.11.2002)		Date of mailing of the international search report 10 DEC 2002																											
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703)305-3230		Authorized Officer Stephane J. Marc Telephone No. (703) 305-305-4478																											

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

フロンツページノ続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW, ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES, FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,N O,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 グレゴリオ・ペドロ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 サンホセ フォックスレーン 8 0 1

(72)発明者 オリエン・ニール・ティ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 サンホセ フォックスレーン 8 0 1

(72)発明者 ベーリー・デビッド・ダブリュー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 サンホセ フォックスレーン 8 0 1

(72)発明者 バサロ・スティーブン・ピー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 1 サンホセ フォックスレーン 8 0 1

F ターム(参考) 5H004 GA26 GB16 HA07 HB07 JA04 MA36 MA39 MA53 MA54

5H303 AA10 BB03 BB09 DD01 DD03 DD25 DD26 DD27 DD28 FF06

GG06 GG23 GG25 LL06

【要約の続き】

, 6 4 , 6 6 , 7 0 に信号を送信して前記ケーブル 1 3 0 を動かし、それにより、前記連結機構 3 8 を動かす。

专利名称(译)	接口设备带有电缆驱动力反馈和四个接地执行器		
公开(公告)号	JP2004535870A	公开(公告)日	2004-12-02
申请号	JP2003514348	申请日	2002-07-16
[标]申请(专利权)人(译)	伊梅森公司		
申请(专利权)人(译)	Immersion公司		
[标]发明人	グレゴリオペドロ オリエンニールティー ペーリーデビッドダブリュー バサロステイーブンピー		
发明人	グレゴリオペドロ オリエンニールティー ペーリーデビッドダブリュー バサロステイーブンピー		
IPC分类号	G06Q50/20 A61B17/00 A61B19/00 G05B11/00 G05B13/04 G05D3/12 G09B9/00 G09B23/28		
CPC分类号	G09B23/285 A61B34/70 A61B34/71 A61B34/76 A61B2017/00707 A61B2034/741 G05B2219/40122 G05B2219/45118		
FI分类号	A61B19/00.502 G05B13/04 G05D3/12.N		
F-TERM分类号	5H004/GA26 5H004/GB16 5H004/HA07 5H004/HB07 5H004/JA04 5H004/MA36 5H004/MA39 5H004/ /MA53 5H004/MA54 5H303/AA10 5H303/BB03 5H303/BB09 5H303/DD01 5H303/DD03 5H303/DD25 5H303/DD26 5H303/DD27 5H303/DD28 5H303/FF06 5H303/GG06 5H303/GG23 5H303/GG25 5H303/ /LL06		
代理人(译)	藤本登 岩田 徳哉		
优先权	60/305957 2001-07-16 US 10/196563 2002-07-15 US		
其他公开文献	JP4366185B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种通过向用户提供触觉反馈来在模拟系统中提供逼真的感觉的系统。该系统包括用户可以与之一起工作的训练工具，以及连接到该训练工具的机械仿真设备。机械模拟装置包括：接地构件46；可旋转地连接到接地构件46的连接机构38；连接到训练工具和连接机构38的线性轴构件；以及至少一个连接到接地构件的连接构件。四个致动器62、64、66、70，用于检测每个致动器的运动的多个传感器65、67、69以及至少四个（致动器）62、64、66、70连接到该连接。它包括至少三根连接到机构38的电缆。接口设备连接到模拟设备，主计算机20连接到接口设备14，用于执行应用程序。应用程序将信号发送到多个致动器62、64、66、70，以移动电缆130，从而移动连接机构38。

