(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3980206号
(P3980206)
(45)発行日　平成19年9月26日(2007.9.26)　(24)登録日　平成19年7月6日(2007.7.6)

(51)Int.Cl.　F I
B25J 3/00 (2006.01)　B25J 3/00 A

請求項の数 19　(全 12 頁)

(21)出願番号　特願平10-359689
(22)出願日　平成10年12月17日(1998.12.17)
(65)公開番号　特開平11-254353
(43)公開日　平成11年9月21日(1999.9.21)
審査請求日　平成17年11月22日(2005.11.22)
(31)優先権主張番号　97203978.8
(32)優先日　平成9年12月17日(1997.12.17)
(33)優先権主張国　オランダ(NL)

(73)特許権者　598174071
モーグ・エフシーエス・ビー・ブイ
Ｍｏｏｇ　ＦＣＳ　Ｂ．Ｖ．
オランダ国、エヌエル－１１１７　ゼット
ジェイ・シフォール、ピー・オー・ボック
ス　７６００
(74)代理人　100058479
弁理士　鈴江　武彦
(74)代理人　100084618
弁理士　村松　貞男
(74)代理人　100092196
弁理士　橋本　良郎
(74)代理人　100095441
弁理士　白根　俊郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】遠隔操作用の制御システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

第１の回路と、第２の回路とを具備しており、

前記第１の回路が、

第１の質量に作用し、第１のアクチュエータ信号によって制御される第１のアクチュエータと、

前記第１のアクチュエータに結合された手動制御手段と、

手動制御手段に与えられた力を測定する第１の力変換器と、

手動制御手段の速度を測定する第１の速度変換器と、

入力信号が第１の指令された加速度信号を得るためにシミュレートされた質量によって除算され、また第１の指令された速度信号を得るために時間積分される、運動質量の力学のモデルを表わす第１の制御回路と、

前記第１の指令された速度信号と前記第１の速度変換器の出力である手動制御手段の速度との間の差を入力として受けて前記第１のアクチュエータ信号を生成する第１のアクチュエータ制御装置とを備えており、

前記第２の回路が、

第２の質量に作用し、第２のアクチュエータ信号によって制御される第２のアクチュエータと、

前記第２のアクチュエータに結合された遠隔制御手段と、

遠隔制御手段に与えられた力を測定する第２の力変換器と、

遠隔制御手段の速度を測定する第２の速度変換器と、
入力信号が第２の指令された加速度信号を得るためにシミュレートされた質量によって除算され、また第２の指令された速度信号を得るために時間積分される、運動質量の力学のモデルを表わす第２の制御回路と、
前記第２の指令された速度信号と前記第２の速度変換器の出力である遠隔制御手段の速度との間の差を入力として受けて前記第２のアクチュエータ信号を生成する第２のアクチュエータ制御装置とを備えており、
第１および第２の制御回路においてシミュレートされた質量が、前記第１の質量と第２の質量との和であり、前記第１の力変換器と第２の力変換器の２つの測定された力の差が、前記第１および第２の制御回路に前記入力信号として供給されることを特徴とする遠隔制御システム。
【請求項２】
第１の指令された速度信号は第１の指令された位置信号を得るために時間積分され、第２の指令された速度信号は第２の指令された位置信号を得るために時間積分され、
第１の回路は、
手動制御手段の位置を決定する第１の位置変換器と、
第１の位置変換器の出力信号を第１の指令された位置信号と比較し、それに基づいて第１のアクチュエータ制御装置に供給されるエラー信号を生成する比較器とをさらに備えており、
第２の回路は、
遠隔制御手段の位置を決定する第２の位置変換器と、
第２の位置変換器の出力信号を第２の指令された位置信号と比較し、それに基づいて第２のアクチュエータ制御装置に供給されるエラー信号を生成する比較器とをさらに備えていることを特徴とする請求項１記載の遠隔制御システム。
【請求項３】
両エラー信号は、各アクチュエータ制御装置に供給される前に減衰または増幅されることを特徴とする請求項２記載の遠隔制御システム。
【請求項４】
第１の回路において、第１の指令された加速度信号が第１のアクチュエータ制御装置に供給され、第２の回路において、第２の指令された加速度信号が第２のアクチュエータ制御装置に供給されることを特徴とする請求項１記載の遠隔制御システム。
【請求項５】
第１および第２の指令された加速度信号は、各アクチュエータ制御装置に供給される前に減衰または増幅されることを特徴とする請求項４記載の遠隔制御システム。
【請求項６】
第１および第２の指令された速度信号を比較し、それに基づいて第１および第２のアクチュエータ制御装置に供給されるエラー信号を生成する比較器を具備していることを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項７】
エラー信号は、第１および第２のアクチュエータ制御装置に供給される前に減衰または増幅されることを特徴とする請求項６記載の遠隔制御システム。
【請求項８】
第１および第２の指令された位置信号を比較し、それに基づいて第１および第２のアクチュエータ制御装置に供給されるエラー信号を生成する比較器を具備していることを特徴とする請求項２乃至７のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項９】
エラー信号は、第１および第２のアクチュエータ制御装置に供給される前に減衰または増幅されることを特徴とする請求項８記載の遠隔制御システム。
【請求項１０】
指令された速度および位置信号の代りに、各変換器によって供給される測定された速度

および位置信号が、前記エラー信号を得るために使用されることを特徴とする請求項６乃至９のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項１１】
アクチュエータ制御装置は、ＰＩ制御装置として構成されていることを特徴とする請求項１乃至１０のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項１２】
第１の回路は、第１の力変換器によって測定された力と、第２の力変換器によって測定された力を予め定められた関数で除算したものとの差を受取り、第２の回路は、第２の力変換器によって測定された力と、第１の力変換器によって測定された力を前記予め定められた関数で乗算したものとの差を受取ることを特徴とする請求項１乃至１１のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項１３】
第１および第２の指令された速度信号は前記比較器に供給される前に、第１の指令された速度信号が前記予め定められた関数で乗算され、第２の指令された速度信号が前記関数で除算されることを特徴とする請求項１２記載の遠隔制御システム。
【請求項１４】
第１および第２の指令された位置信号は前記比較器に供給される前に、第１の指令された位置信号が前記予め定められた関数で乗算され、第２の指令された速度信号が前記関数で除算されることを特徴とする請求項１２記載の遠隔制御システム。
【請求項１５】
関数は一定の係数、すなわち変速比であることを特徴とする請求項１１乃至１３のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項１６】
関数は、１以上の任意の変数に依存していることを特徴とする請求項１１乃至１３のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項１７】
第１の回路および第２の回路において速度変換器が除去され、各速度信号は、各変換器から得られた位置または加速度信号に基づいた評価として得られることを特徴とする請求項１乃至１６のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項１８】
複数の自由度を制御するためにシステムが対応した個数だけ設けられている請求項１乃至１７のいずれか１項記載の遠隔制御システム。
【請求項１９】
複数の必要な力変換器が結合されて複数の自由度を測定する単一の変換器を構成していることを特徴とする請求項１８記載の遠隔制御システム。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、ロボット工学の分野に関し、特に対象物の遠隔処理に使用されるマニピュレータに関する。
【０００２】
【従来の技術】
たとえば遠隔操作制御システムが知られている。文献(" Developments of new force reflecting control schemes and an application to a teleoperation training simulator " by Won S.Kim in Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation,May 1992)には、いくつかの実施形態が記載されている。この文献では、システムがいくつかのクラスに区別されている。
【０００３】
第１のクラスの従来技術の制御装置、いわゆる力反映（ＦＲ）制御装置において、遠隔マニピュレータ（スレイブ）は、マスターアームを通って人間のオペレータによって制御さ

れ、スレイブ中の接触力は力センサによって感知され、マスターアームに反映される。安定性の問題のために、力反映利得はほぼ１／１０に制限される。すなわち、遠隔マニピュレータアームが１０Ｎを感知したとき、オペレータは１Ｎしか感知することができない。

【０００４】

第２のクラスの従来技術の制御装置は、いわゆる共用コンプライアンス制御　（ＳＣＣ）に基づいている。このタイプの制御装置は、センサからの力をローパスフィルタで処理することによってロボットをさらに扱い易いものにする。この方法において、力反映利得を増加させることができる。

【０００５】

第３のクラスの従来技術の制御装置は、ＦＲとＳＣＣとの組合せを使用する。

【０００６】

第４のクラスの従来技術の制御装置は、位置エラーを応用した力反映を使用し、この力反映は、スレイブアームの指令された位置とその実際の位置との間の位置エラーに比例させられる。

【０００７】

第５のクラスの従来技術の制御装置は、ＳＣＣと位置エラー応用力反映との組合せである。

【０００８】

上述された従来技術の制御装置の全てに共通した特徴は、これらの制御装置が遠隔アームに対して指令された位置（セットポイント位置）として人間のオペレータ（手動制御装置）の指令された位置を使用することである。したがって、従来技術の制御装置は全て本質的に、指令された位置（人間のオペレータ）と遠隔マニピュレータアームの実際の位置との間の存在する位置エラーの制御に依存した位置制御装置である。従来技術の制御装置のクラスに応じて、この位置エラーは、手動制御装置と遠隔制御装置との間で顕著であり（たとえば、制動されたばねのように感じられ）、このコンプライアンスのために正確な位置決定を行うことはできず、“感じ”を得ることもできない。

【０００９】

米国特許第 5,116,180号明細書には、遠隔マニピュレータアームからの力だけが感知され、手動制御装置にフィードバックされる遠隔操作システムが記載されている。

【００１０】

国際特許出願 WO-9510080 号明細書には、位置だけに基づいて力が計算されるシステムが記載されている。

【００１１】

米国特許第 5,004,391号明細書には、遠隔マニピュレータアームからの力だけが感知され、手動制御装置にフィードバックされるシステムが記載されている。

【００１２】

文献(" A new Robot for High Dexterity Microsurgery " by P.S.Schenker et al.,Proceedings of the first International Conference of CVRMed'95,April 1995) には、位置制御だけに基づいたシステムが記載されている。

【００１３】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、一方が人間のオペレータによって使用され、他方が対象物の遠隔制御のために使用される２個のマニピュレータを含んでおり、それによって２個のマニピュレータは、それらがまるで、仮想上の無限のスチフネスを有するリンクによって連結されているかのように動作して、遠隔マニピュレータの非常に正確な制御を可能にするため、人間のオペレータは、彼が前記シミュレートされた無限剛性リンクによってその遠隔マニピュレータを実際に操作しているように感じる遠隔操作用の制御システムを提供することである。

【００１４】

【課題を解決するための手段】

この目的は本発明の遠隔制御システムによって達成される。本発明の遠隔制御システムは、第１の回路と、第２の回路とを具備しており、第１の回路が、第１の質量に作用し、第１のアクチュエータ信号によって制御される第１のアクチュエータと、第１のアクチュエータに結合された手動制御手段と、手動制御手段に与えられた力を測定する第１の力変換器と、手動制御手段の速度を測定する第１の速度変換器と、その入力信号が第１の指令された加速度信号を得るためにシミュレートされた質量によって除算され、また第１の指令された速度信号を得るために時間積分される、運動質量の力学のモデルを表わす第１の制御回路と、その入力信号が第１の指令された速度信号と手動制御手段の速度との間の差である第１のアクチュエータ制御装置とを備えており、第２の回路が、第２の質量に作用し、第２のアクチュエータ信号によって制御される第２のアクチュエータと、第２のアクチュエータに結合された遠隔制御手段と、遠隔制御手段に与えられた力を測定する第２の力変換器と、遠隔制御手段の速度を測定する第２の速度変換器と、その入力信号が第２の指令された加速度信号を得るためにシミュレートされた質量によって除算され、また第２の指令された速度信号を得るために時間積分される、運動質量の力学のモデルを表わす第２の制御回路と、その入力信号が第２の指令された速度信号と遠隔制御手段の速度との間の差である第２のアクチュエータ制御装置とを備えており、第１および第２の制御回路においてシミュレートされた質量が、第１の質量と第２の質量との和であり、２つの測定された力の差が、第１および第２の制御回路に入力信号として供給されることを特徴とする。

【００１５】

このシステムでは、２つの質量が使用され、これら２つの質量は、それらがあたかも物理的に接続されているかのような力学を有するように、物理的に接続されていないが制御システムによって結合されている。与えられた力は両質量で反映され、それによって結果的に得られた両質量の感覚(feel)、加速度、速度および位置が集中された(lumpe) 質量システムのものと同一である。

【００１６】

純粋な質量力学をシミュレートするために、本発明はまた、質量に作用し、第１のアクチュエータ信号によって制御されるアクチュエータと、前記アクチュエータに結合された手動制御手段と、手動制御手段に与えられた力を測定する力変換器と、手動制御手段の速度を測定する速度変換器と、その入力信号が指令された加速度信号を得るためにシミュレートされた質量によって除算され、また指令された速度信号を得るために時間積分される、運動質量の力学のモデルを表わす制御回路と、その入力信号が指令された速度信号と手動制御手段の速度との間の差であるアクチュエータ制御装置とを具備していることを特徴とするモデルフォロワを提供する。

【００１７】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明をさらに詳細に説明する。まず第１に本発明によるシステムの機能を説明するために、仮定上の無限スチフネスおよびゼロ質量を有する、物理的な接続部Ｃによって接続されている２つの質量M1 およびM2 を示している図１を参照する。質量M1 に作用している力Ｆ1 は、たとえばオペレータの手によって与えられ、一方質量M2 に作用している力Ｆ2 は、たとえば対象物によって与えられる。結合部Ｃの無限のスチフネスのために、２つの質量は、図２に示されているこのシステムの等価なモデルにおいて為されるようにまとめられることができる。２つの力Ｆ1 およびＦ2 の差は、シミュレートされた集中された質量１／（M1 ＋M2 ）に作用して、それによって加速度Ａを生成する。速度Ｖは、積分装置（１／Ｓ）によって得られ、また別の積分装置（１／Ｓ）により、結合された質量の位置Ｐが得られる。

【００１８】

図１において物理的な接続部Ｃが存在しない場合、図１は、事実上２つの完全に独立したシステム、すなわち、力Ｆ1 が質量M1 に作用する第１のシステムと、力Ｆ2 が質量M2 に作用する第２のシステムとを示している。これと等価なものが図３に示されている。

【００１９】
図３において、力Ｆ1 は第１の質量（１／Ｍ1 によって表わされた）に作用し、加速度Ａ1 を結果的に生成する。この加速度Ａ1 を積分装置2 において積分（１／Ｓ）を行うことによって速度Ｖ1 が得られ、積分装置4 においてさらに積分（１／Ｓ）を行うことによって位置Ｐ1 が得られる。図３における第２のシステムにおいて、力Ｆ2 は、第２の質量（１／Ｍ2 で表わされる）に作用し、加速度Ａ2 を結果的に生成する。積分装置6 において加速度Ａ2 を積分（１／Ｓ）した結果、速度Ｖ2 が生成され、またこの速度Ｖ2 を別の積分装置8 において積分することによって位置Ｐ2 が生成される。
【００２０】
図３に示されている構造に基づいた本発明を実現するために、図４に示されている構造が設計される。図４に示されているシステムは、図３のように２つのサブシステムを含んでいる。第１のサブシステムは、１／（実際のＭ1 ＋シミュレートされたＭ2 ）で表わされる集中された質量10と、２つの積分装置12および14とを含んでいる。ノード16において、実際に与えられた力Ｆ1 と測定された力Ｆ2 との和が決定され、結果的に得られた力和信号が質量10に作用する。その結果、この質量10は、加速度Ａccを得ることとなり、それは積分装置12における積分によって速度Ｖelに変換されることができ、積分装置14においてさらに積分することによって位置Ｐosが生成される。
【００２１】
同様に、図４における第２のサブシステムは、１／（シミュレートされたＭ1 ＋実際のＭ2 ）で表わされた集中された質量20と、２つの積分装置22および24とを含んでいる。ノード26において、シミュレートされた力Ｆ1 と実際に与えられた力Ｆ2 との和が決定され、結果的に得られた力和信号が質量20に作用し、その結果加速度Ａcc' が生成される。積分装置22および24において２度積分することによって、速度Ｖel' および位置Ｐos' が得られる。
【００２２】
図４において、
シミュレートされたＭ1 ＝実際のＭ1
シミュレートされたＭ2 ＝実際のＭ2
シミュレートされたＦ1 ＝与えられたＦ1
シミュレートされたＦ2 ＝与えられたＦ2
と仮定してもよいならば、Ａcc＝Ａcc' ，Ｖel＝Ｖel' およびＰos＝Ｐos' である。その場合、結果的に得られた感覚は、手動制御手段によって一方のアクチュエータに作用している人間のオペレータによって経験されるものであるが、その人間のオペレータが、他方のアクチュエータによって処理されている対象物に対して実際に作用しているかのようである。人間のオペレータは、質量Ｍ1 および質量Ｍ2 が図２のようにまるで無限の剛性のリンクによってゼロ質量と接続されているかのように質量Ｍ1 の力学と質量Ｍ2 の力学とを感じる。逆に、対象物は、両質量がまるで無限の剛性のリンクによってゼロ質量と接続されているかのように与えられた力を“感じる”。
【００２３】
図４中のシステムは、シミュレートレートされた力の使用に依存する。シミュレーションのために、図５に示されているように、質量が電気的、液圧または空気圧アクチュエータに接続される必要がある。図５に示されているモデルフォロワは、純粋な質量の力学のシミュレーションを可能にする。アクチュエータ30は、質量30に作用する。図５中の質量31（たとえば、ロータリー電気アクチュエータ）は、出力アーム32を具備しており、このアームによって動作（この場合は直線動作のみ）が行われることができる。アーム32と質量31との間には、動作しているアーム32に人間のオペレータが与える力Ｆa を測定する力変換器34が設けられている。さらに、アクチュエータ30は、質量およびそれと共に動作するアームが刻々と移動する速度Ｖm を測定するタコメータ36または別の速度感知手段に結合されている。速度を直接測定するタコメータの代りに、アクチュエータ30の加速度を積分するか、あるいは位置を微分することによりこの速度を間接的に決定することができる。

【００２４】
力Ｆａ が手動で動作しているアーム32に与えられるやいなや、力センサ34が測定された力を表わす信号Ｆｍ を発生し、この信号をモデルフォロワ制御システム38に供給する。このモデルフォロワ制御システム38は所望の力学のモデルを含んでおり、この場合、それは質量Ｍのモデルである。信号Ｆｍ は、指令された加速度信号Ａｃ を得るために前記質量によって除算される。この指令された加速度信号Ａｃ は時間積分（１／Ｓ）され、その結果指令された速度信号Ｖｃ が生成される。
【００２５】
示されているように、アクチュエータ30はタコメータ36に接続されており、このタコメータが、質量31およびそれに伴うアーム32が移動している実際の速度を示す測定された速度信号Ｖｍ を供給する。
【００２６】
指令された速度信号Ｖｃ および測定された速度信号Ｖｍ の両者が比較器40において互いに比較され、結果的に得られた速度エラー信号は、制御装置42および増幅器44を含むアクチュエータ制御回路に供給され、この増幅器44がその出力においてアクチュエータ制御信号をアクチュエータ30に供給する。制御装置42、増幅器44およびアクチュエータ30が適切に選択された場合、質量31およびそれに伴うアーム32は指令された速度を得るように加速する。このモデルフォロワの機能は、明らかに与えられた力Ｆａ および質量Ｍの両者に依存し、制御装置38内における所望の力学を表わしている。制御装置42は、その必要はないが、ＰＩ制御装置であることが好ましい。
【００２７】
アーム32の位置に関する不明確さをなくすために、図６に示されているさらに発展した実施形態を適用することが好ましい。図５の実施形態にも存在している全ての素子は、同じ参照符号で示されている。図６には、測定された位置信号Ｐｍ を供給する位置センサ46が追加されている。さらに、モデルフォロワ制御システム38' は、以下説明するように、補正するためにいくつかのものが追加されている。
【００２８】
モデルフォロワ制御システム38' において、測定された力信号Ｆｍ は最初に図５で行われたのと同じ方法で指令された加速度信号Ａｃ に変換され、その後指令された速度信号Ｖｃ に変換される。その後、指令された速度信号Ｖｃ は再び時間積分され、結果的に指令された位置信号Ｐｃ を生成する。この信号Ｐｃ は、比較器48において測定された位置信号Ｐｍ と比較され、結果的に位置エラー信号が生成され、それはＫｐによる減衰／増幅後に、ノード50に送られる。このノード50において、この位置エラー信号によって、指令された速度信号Ｖｃ が補正される。これが可能性のある何等かのドリフトを実効的に補償する。
【００２９】
アクチュエータ30の制限された帯域幅を補償するために、Ｋａによる減衰または増幅後に、やはりノード50において、指令された加速度信号Ａｃ を指令された速度信号Ｖｃ に付加することによって、位相の進相を得ることができる。最後に、図５のように、（現在補正されている）指令された速度信号Ｖｃ は、比較器40において測定された速度信号Ｖｍ と比較され、結果的に得られた速度エラー信号は、アクチュエータ30を制御するために制御装置42および増幅器44によって使用される。
【００３０】
図４の概略図を、図５に示されているモデルフォロワ、あるいは図６にさらに好ましい形態が示されているモデルフォロワと組合わせた場合、図７の概略図に示された構成が得られる。この図は、２つのサブシステムを示しており、それらは交差接続されている。第１のサブシステムは、モデルフォロワ制御システム60ａ、増幅器62ａ、質量64ａ、力センサ66ａおよびノード68ａを含んでいる。第２のサブシステムは、モデルフォロワ制御システム60ｂ、増幅器62ｂ、質量64ｂ、力センサ66ｂおよびノード68ｂを含んでいる。質量64ａに与えられた力Ｆａ は、力センサ66ａによって測定される。測定された信号Ｆａｍは、ノード68ａおよびノード68ｂの両者に供給される。質量64ｂに作用している力Ｆｂ は、力セン

サ66ｂによって測定される。測定された信号Ｆbmは、ノード68ａおよびノード68ｂの両者に供給される。図８には、図７に示されている概略図のさらに詳細な実施形態を示す。図８では、図５に示されているモデルフォロワが２度適用されている。モデルフォロワ制御システム38ａおよび38ｂの両者においてシミュレートされた質量は、Ｍ1 ＋Ｍ2 に設定される。図８では、図５から既に知られている素子は全て、第１のサブシステムについては“ａ”を、また第２のサブシステムについて“ｂ”を後に付けて同じ参照符号で示されている。力変換器34ａによって測定された力信号Ｆamは、力変換器34ｂによって供給された測定された力信号Ｆbmと共にノード70ａに供給される。測定された力信号はまた、共にノード70ｂに供給される。ノード70ａおよび70ｂの両者からの出力信号は、モデルフォロワ制御システム38ａおよび38ｂにそれぞれ送られる。

【００３１】

オペレータが、質量Ｍ1 （31ａ）に接続されている力センサ34ａに力Ｆａ を与えた場合、アクチュエータ30ａおよび30ｂの両者、ならびにそれらの結合された質量31ａおよび31ｂ（Ｍ1 およびＭ2 ）が、指令された速度を得るためにＦａ ／（Ｍ1 ＋Ｍ2 ）だけ加速する。人間のオペレータは、無限の剛性リンクによってゼロ質量と接続されたＭ1 ＋Ｍ2 を感知する。

【００３２】

既に述べたように、図６に示されている質量フォロワを使用することが好ましい。図９には図７に基づく二重回路が示されており、それによって図６のフォロワ回路が２度適用される。図９に示されている両サブシステムに属する種々の素子は、第１のサブシステムに対して“ｃ”を、また第２のサブシステムに対して“ｄ”を後に付けて図６と同じ参照符号で示されている。システム全体の機能に関する詳細な説明は不要である。任意の素子の許容誤差のために動作中に両サブシステム間で位置エラーまたは速度エラーが生じないことを確実にするために、サブシステムｃからの実際の位置信号Ｐccとサブシステムｄからの信号Ｐcdが比較器72において比較され、その結果位置エラー信号Ｐｅ が生成される。同様に、サブシステムｃからの速度信号Ｖccおよびサブシステムｄからの速度信号Ｖcdが比較器74で比較され、その結果速度エラー信号Ｖｅ が生成される。Ｋｃによる減衰／増幅後、位置エラー信号はノード76に供給されて、ここでＫｄにより増幅／減衰された速度エラー信号と結合さる。ノード76の出力で結果的に得られた信号は、ノード70ｃおよび70ｄへの補正として供給される。それに続いてシステムは、エラー信号Ｖｅ およびＰｅ がゼロのままである状態にしようとする。

【００３３】

エラー信号Ｐe'およびＶe'を得るために、指令位置および速度信号Ｐcc，Ｐcd，Ｖccおよびｖcdの代りに、センサの出力において測定された位置および速度信号36ｃ，36ｄ，46ｃおよび46ｄが使用できる。この実施形態は独立して示されていない。

【００３４】

ここまで、質量Ｍ1 およびＭ2 だけが異なる値を有することができ、それに対してこれらの質量の加速度Ａ、速度Ｖおよび位置Ｐは両サブシステムにおいて同じであると仮定されている。しかしながら、力、速度および位置は、特別な効果を得るように定めることが可能である。簡単な一例は、変速比である係数Ｇで位置を減少しながら力を増幅する機械的なギアボックスのソフトウェア実現である。その場合、手動で動作される制御装置は、無限に剛性の仮想上のギアボックスによってスレイブアクチュエータに接続されることとなる。この特徴は、たとえば、デリケートな遠隔対象物を操作する場合にオペレータをさらに敏感にし、あるいは重い対象物を処理する場合にオペレータをさらにパワフルにするために使用できる。図９の実施形態に基づく一例は、図１０に示されている。

【００３５】

図１０には、図９中の回路の中央部分だけが示されている。ノード70ｃは、力信号Ｆcmおよびｇで除算された力信号Ｆdmを受信する。反射(bounce)された信号は、制御回路38ｃに対する入力信号を形成する。ノード70ｄは、力信号Ｆdmおよび別の力信号Ｆcmを受信し、この信号ＦcmはＧで乗算されている。ノード70ｄの出力におけるこれらの信号の差は、

制御回路38ｄに対する入力信号として使用される。

【００３６】

速度エラー信号Ｖｅ および位置エラー信号Ｐｅ が図９のように生成された場合、回路は図１０に示したように修正する必要がある。速度信号Ｖccは、Ｇで乗算された後にノード74に供給される。速度信号Ｖcdは、Ｇで除算された後にノード74に供給される。結果的に得られたエラー信号Ｖe'は、ノード70ｃおよび70ｄの両方に供給される（減衰または増幅後）。

【００３７】

位置信号Ｐccは最初にＧにより乗算され、その後ノード72に供給される。位置信号Ｐcdは Ｇで除算され、その後ノード72に供給される。結果的に得られたエラー信号Ｐe'は、減衰または増幅後ノード70ｃおよび70ｄの両方に送られる。

【００３８】

上述の変速比Ｇは、一定の係数またはＧ（ｘ）と表わされる任意の変数ｘの関数あるいはその他任意の関数であることができることが認められる。

【００３９】

上述された制御システムは、単一の自由度を反映している。遠隔マニピュレータにおいて多数の自由度を使用する必要がある場合、遠隔マニピュレータの各ジョイントは上述された制御システムを備え、本発明による制御システムをやはり備えている多数の自由度の手動制御装置の等価なジョイントに接続されることができる。多くの場合、自由度の数より小さい個数の力変換器を結合し、結果的に費用を減少することが可能である。

【００４０】

その場合、ジョイントにおける力を評価するために計算が行われる。その後、評価された力は、図７，８において説明され、示されているように交差接続される。

【図面の簡単な説明】

【図１】物理的に接続されている２つの質量を有するシステムの概略図。

【図２】図１のシステムの等価なモデルの概略図。

【図３】結合されていない２つの基本的な力応答システムの概略図。

【図４】両システムがあたかも結合されているかのように動作している状況を示す概略図。

【図５】本発明によるシステム内で使用されるモデルフォロワの一実施形態のブロック図。

【図６】本発明によるシステムにおいて使用されるモデルフォロワのさらに精巧な実施形態のブロック図。

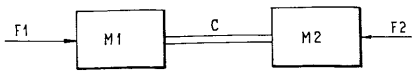
【図７】本発明によるシステムの一般的な実施形態のブロック図。

【図８】本発明によるシステムの詳細な実施形態のブロック図。

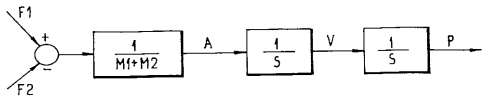
【図９】本発明によるシステムのさらに詳細な実施形態のブロック図。

【図１０】本発明によるシステムの１実施形態の一部の詳細図。

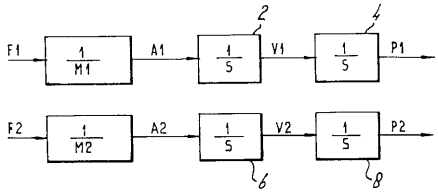
【図１】



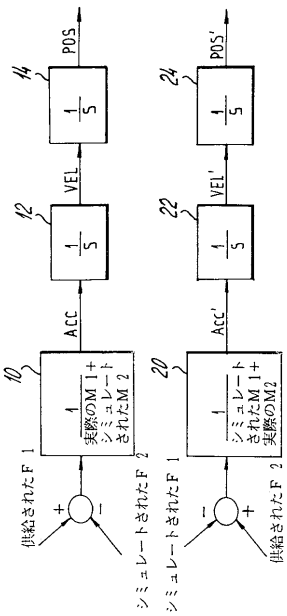
【図２】



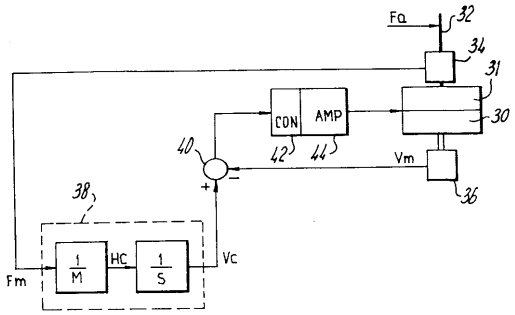
【図３】



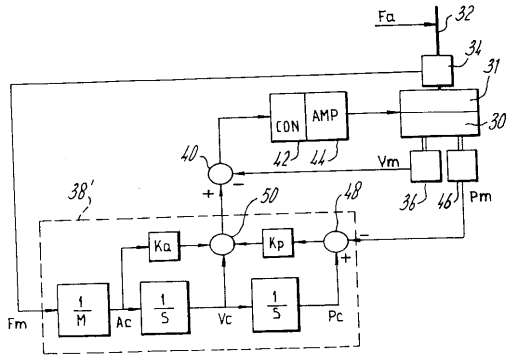
【図４】



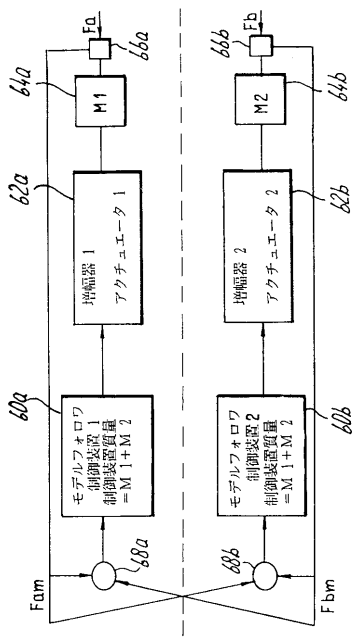
【図５】



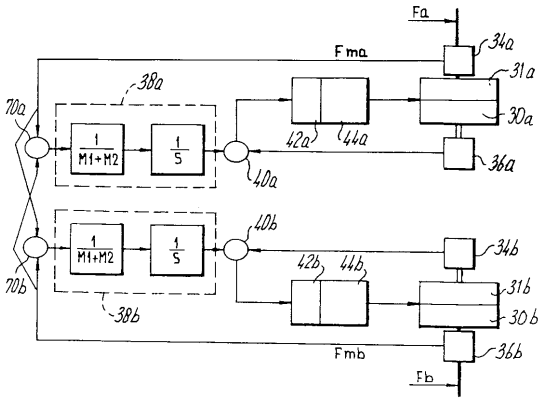
【図６】



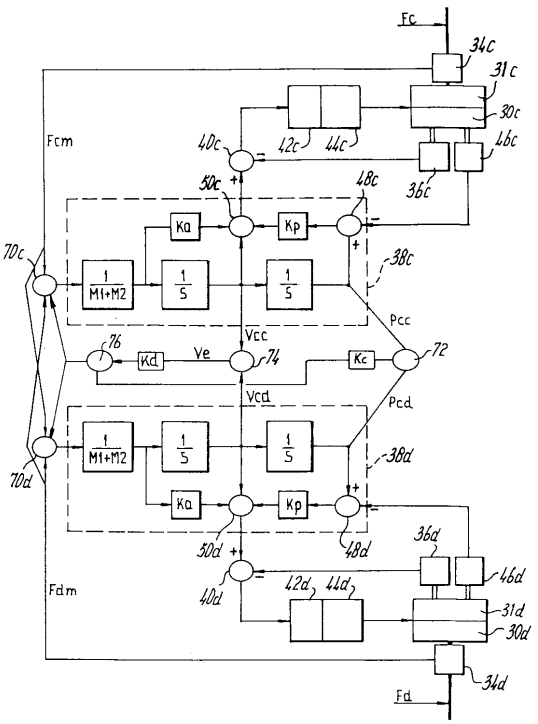
【図７】



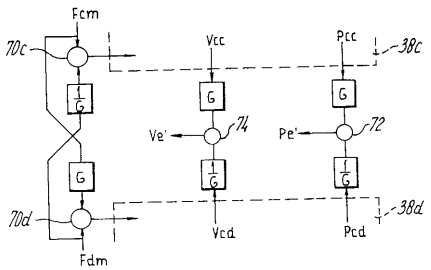
【図８】


Fa
Fma
34a
31a
30a
36a
38a
70a
1/(M1+M2)
1/S
40a
42a
44a
40b
34b
42b
44b
31b
30b
70b
38b
Fmb
36b
Fb

【図９】


Fc
34c
31c
30c
46c
Fcm
40c
42c
44c
36c
50c
48c
Ka
Kp
70c
38c
Pcc
76
Kd
Ve
Vcc
74
Kc
72
Vcd
Pcd
70d
38d
50d
48d
36d
46d
Fdm
40d
42d
44d
31d
30d
34d
Fd

【図１０】


Fcm
70c
Vcc
Pcc
38c
G
1/G
Ve'
74
Pe'
72
70d
Vcd
Pcd
38d
Fdm

フロントページの続き

(72)発明者　ゲルハルト・ジョアン・ビールダ
オランダ国、エヌエル－２１３６　ビーエー・ツワーンシェク、バルトマンストラート　４５

審査官　大山　健

(56)参考文献　特開昭６２－２９７０８０（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－２０５０５８（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－１６１２８９（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－２２８７５２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
B25J　1/00-21/02
G05D　3/12