

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6305673号
(P6305673)

(45) 発行日 平成30年4月4日(2018.4.4)

(24) 登録日 平成30年3月16日(2018.3.16)

(51) Int. Cl. F I
B 2 5 J 13/08 (2006.01) B 2 5 J 13/08 Z
G 0 5 B 11/36 (2006.01) G 0 5 B 11/36 F

請求項の数 4 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2011-243131 (P2011-243131)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成23年11月7日(2011.11.7)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2013-94952 (P2013-94952A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成25年5月20日(2013.5.20)	(74) 代理人	100116665
審査請求日	平成26年11月4日(2014.11.4)		弁理士 渡辺 和昭
審判番号	不服2016-9571 (P2016-9571/J1)	(74) 代理人	100164633
審判請求日	平成28年6月28日(2016.6.28)		弁理士 西田 圭介
		(74) 代理人	100179475
			弁理士 仲井 智至
		(72) 発明者	稲積 満広
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット制御システム、ロボットシステム及びロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

力覚センサーからの出力に基づいて、前記力覚センサーを備えるロボットのフィードバック制御に用いる補正值を出力するデジタルフィルター部を有し、

前記デジタルフィルター部は、

常微分方程式の各項の係数パラメーターに基づいて、第1の駆動周波数、第2の駆動周波数に各々対応した第1のデジタルフィルター係数及び第2のデジタルフィルター係数の両方を出力するデジタルフィルター係数出力部と、

前記デジタルフィルター係数及び前記力覚センサー情報に基づいて前記デジタルフィルター処理を行うデジタルフィルター演算部と、を含み、

前記ロボットのインピーダンス制御をすることを特徴とするロボット制御システム。

【請求項2】

請求項1において、

前記常微分方程式は、

仮想質量項、仮想粘性項及び仮想弾性項を係数パラメーターとする運動方程式であることを特徴とするロボット制御システム。

【請求項3】

請求項1又は2のいずれかに記載のロボット制御システムと、

ロボットと、

を含むことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 4】

ロボットであって、

力覚センサーからの出力に基づいて、前記力覚センサーを備える前記ロボットのフィードバック制御に用いる補正値を出力するデジタルフィルター部を有し、

前記デジタルフィルター部は、

常微分方程式の各項の係数パラメーターに基づいて、第 1 の駆動周波数、第 2 の駆動周波数に各々対応した第 1 のデジタルフィルター係数及び第 2 のデジタルフィルター係数の両方を出力するデジタルフィルター係数出力部と、

前記デジタルフィルター係数及び前記力覚センサー情報に基づいて前記デジタルフィルター処理を行うデジタルフィルター演算部と、

を含むことを特徴としたロボット。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボット制御システム、ロボットシステム及びセンサー情報処理装置等に関する。

【背景技術】

【0002】

マニピュレーター等のロボットを用いて行う作業において、種々の拘束条件、例えば物体との接触を伴う作業がある。このような場合においては、位置の制御に加えて、力の制御が要求される場合が多い。例えば、物体の表面をなぞる場合、1つの物体を他の物体に嵌め合わせる場合、柔軟物を破壊しないように把持する場合などにおいては、単なる位置の制御に加えて、物体からの反力に対応した動きが必要となる。

20

【0003】

ロボットにおいて力制御を行う代表的な手法としては、インピーダンス制御と呼ばれる手法がある。インピーダンス制御とは、ロボットを、その実際の質量や粘性特性や弾性特性に関わらず、あたかも作業に適したそれらの値を持つかのように動作させる制御手法である。これは、ロボットに取り付けられた力覚センサーなどから得られる力情報に基づいて運動方程式を解き、ロボットをその解に従って動作させる制御手法である。この運動方程式を適切に設定することにより、マニピュレーター等のロボットを、あたかも所定の質量、粘性、弾性を持っているかのごとく動作させることが可能になる。このようなインピーダンス制御や力制御に関する従来技術としては、特許文献 1、2、3 に開示される技術が知られている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 6 - 3 2 0 4 5 1 号公報

【特許文献 2】特開平 2 - 2 0 5 4 8 9 号公報

【特許文献 3】特開平 4 - 3 6 9 0 0 4 号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 には、制御対象が柔軟である場合のような、非常に複雑な系においても、精度良くインピーダンス制御を行う手法が開示されている。

【0006】

特許文献 2 には、力覚センサーを用いずに、制御系内部に運動モデルを持つことにより力を推定し、制御系は複雑になるもののセンサーは不要としつつ、かつ、より単純な機械的な構造により、インピーダンス制御を行う手法が開示されている。

【0007】

一方、特許文献 3 には、演算量を削減するための 1 つの手法が開示されている。これは

50

、上記の特許文献1、2に記載される逆ヤコビアン行列を求める計算を行わずに、転置ヤコビアン行列を用いることにより、計算量を削減するものである。

【0008】

インピーダンス制御においては、ロボット等に所望の特性（質量・粘性特性・弾性特性）を持つかのように振る舞わせるために、当該特性に対応する係数パラメータを用いた常微分方程式（2階の線形常微分方程式である運動方程式）を解く必要がある。常微分方程式を解く手法は種々知られているが、Runge-Kutta法やNewton法等が用いられる。

【0009】

しかし、これらの手法はハードウェア化に適さず、安定性の判定も難しい。さらに応答性の切り替えに対応することが困難であるという問題もある。ここで、応答性とはロボットに与える所望の特性（質量・粘性特性・弾性特性）により定まる動的な特性のことであり、応答性が低いとは、例えば大きな質量係数、大きな粘性係数、小さな弾性係数によって実現されるような特性を指し、応答性が高いとは、例えば小さな質量係数、小さな粘性係数、大きな弾性係数によって実現されるような特性を指す。これらは実現した作業内容、あるいは作業の場面に依存し、最適な特性が異なる。従って、容易に応答特性を切り替えることができることは非常に重要な機能である。

【0010】

本発明の幾つかの態様によれば、ハードウェア化や安定性の検証や解の応答性の切り替えを容易にするロボット制御システム、ロボットシステム及びセンサー情報処理装置等

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一態様は、力覚センサーからのセンサー情報に基づいて、ロボットの目標軌道の補正值を出力する力制御部と、前記目標軌道に対して前記補正值に基づく補正処理を行なって目標値を求め、求めた前記目標値を出力する目標値出力部と、前記目標値に基づいて、前記ロボットのフィードバック制御を行うロボット制御部と、を含み、前記力制御部は、デジタルフィルター部を有し、前記力制御部は、前記センサー情報に対して前記デジタルフィルター部によるデジタルフィルター処理を行うことで、力制御における常微分方程式の解を求めて、求めた前記解に基づいて前記補正值を出力するロボット制御システム

【0012】

本発明の一態様では、ロボット制御システムは、力覚センサーからのセンサー情報に基づいて力制御を行って補正值を求め、補正值に基づいて得られた目標値を用いてロボットのフィードバック制御を行う。力制御において、常微分方程式の解を求める処理をデジタルフィルター処理により行って補正值を出力することにより、当該処理のハードウェア化や安定性の判定や応答性の切り替えを容易にすること等が可能になる。

【0013】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター部は、前記常微分方程式の各項の係数パラメータに基づいてデジタルフィルター係数を出力するデジタルフィルター係数出力部と、前記デジタルフィルター係数及び前記センサー情報に基づいて前記デジタルフィルター処理を行うデジタルフィルター演算部と、を含んでもよい。

【0014】

これにより、常微分方程式の各項の係数パラメータをデジタルフィルター係数に対応させて、デジタルフィルター処理を行うこと等が可能になる。

【0015】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター係数出力部は、前記係数パラメータを前記デジタルフィルター係数に変換する処理を行うデジタルフィルター係数変換部と、前記デジタルフィルター係数変換部により変換された前記デジタルフィルター係数を記憶するデジタルフィルター係数記憶部と、を含み、前記デジタルフィルター係数出力部

は、前記デジタルフィルター係数記憶部に記憶された前記デジタルフィルター係数を出力してもよい。

【0016】

これにより、常微分方程式の各項の係数パラメーターをデジタルフィルター係数に変換することが可能になる。

【0017】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター部は、前記デジタルフィルター処理に用いられるデジタルフィルターの動作の安定度を判定するデジタルフィルター安定度判定部を含み、前記デジタルフィルター係数出力部は、前記デジタルフィルター安定度判定部において、前記デジタルフィルターの前記動作が安定であると判定された場合に、前記デジタルフィルター係数を出力してもよい。

10

【0018】

これにより、デジタルフィルター処理の安定性の判定を行うことで、常微分方程式に関する系の安定性を判定すること等が可能になる。

【0019】

また、本発明の一態様では、第1の駆動周波数及び前記第1の駆動周波数に比べて高い周波数である第2の駆動周波数のいずれかの駆動周波数で、前記デジタルフィルター処理が行われる場合に、前記デジタルフィルター係数出力部は、第1の駆動周波数に対応する第1のデジタルフィルター係数及び第2の駆動周波数に対応する第2のデジタルフィルター係数の少なくとも一方を出力し、前記デジタルフィルター演算部は、前記デジタルフィルター係数出力部から出力された前記デジタルフィルター係数に応じて、前記第1のデジタルフィルター係数を用いた前記第1の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理及び前記第2のデジタルフィルター係数を用いた前記第2の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理の少なくとも一方の処理を行ってもよい。

20

【0020】

これにより、デジタルフィルター処理の駆動周波数を切り替えること等が可能になる。駆動周波数を切り替えることで、解の応答性を変更することができる他、ノイズ低減用の帯域制限処理等による応答特性の変化に対応すること等が可能になる。

【0021】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター部は、前記センサー情報の信号周波数帯域情報に基づいて、前記第1の駆動周波数及び前記第2の駆動周波数のいずれか一方の前記駆動周波数を選択する選択処理部を含み、前記デジタルフィルター部は、前記選択処理部において選択された前記駆動周波数で前記デジタルフィルター処理を行って、前記補正値を出力してもよい。

30

【0022】

これにより、センサー情報の信号周波数帯域情報に基づいて、自動的に駆動周波数を選択すること等が可能になる。

【0023】

また、本発明の一態様では、前記選択処理部は、前記センサー情報に対して低域通過フィルター処理を施した低域センサー情報と、前記センサー情報に対して高域通過フィルター処理を施した高域センサー情報とを前記信号周波数帯域情報として、前記駆動周波数を選択してもよい。

40

【0024】

これにより、信号周波数帯域情報として、低域センサー情報と高域センサー情報を用いることが可能になる。

【0025】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター処理の前記駆動周波数を、高周波数の前記第2の駆動周波数から、低周波数の前記第1の駆動周波数に切り替える場合に、前記デジタルフィルター演算部は、第1の期間では、前記第2のフィルター係数を用いた第2の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理を行い、前記第1の期間の次の切り

50

替え期間では、前記第1のフィルター係数を用いた第1の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理及び前記第2のフィルター係数を用いた第2の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理の両方を行い、前記切り替え期間の次の第2の期間では、前記第1のフィルター係数を用いた第1の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理を行ってもよい。

【0026】

これにより、駆動周波数の高周波から低周波への切り替えをスムーズに行うこと等が可能になる。

【0027】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター処理の前記駆動周波数を、低周波数の前記第1の駆動周波数から、高周波数の前記第2の駆動周波数に切り替える場合に、前記デジタルフィルター演算部は、切り替えタイミングにおける前記第1のフィルター係数を用いた第1の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理の出力値である第1の出力値、及び前記切り替えタイミングよりも前のタイミングである過去タイミングにおける前記第1のフィルター係数を用いた第1の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理の出力値である第2の出力値に基づいて、前記切り替えタイミングと前記過去タイミングとの間のタイミングにおける補間値を求める補間処理を行い、前記補間値に基づいて、前記第2のフィルター係数を用いた第2の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理を行ってもよい。

【0028】

これにより、駆動周波数の低周波から高周波への切り替えをスムーズに行うこと等が可能になる。

【0029】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター部は、前記デジタルフィルター演算部として、第1のデジタルフィルター演算部と、第2のデジタルフィルター演算部とを含み、前記デジタルフィルター係数出力部は、前記第1のデジタルフィルター演算部に第1のデジタルフィルター係数を出力するとともに、前記第2のデジタルフィルター演算部に前記第1のデジタルフィルター係数とは異なる第2のデジタルフィルター係数を出力し、前記第1のデジタルフィルター演算部は、前記第1のデジタルフィルター係数及び前記センサー情報に基づく前記デジタルフィルター処理を行い、前記第2のデジタルフィルター演算部は、前記第2のデジタルフィルター係数及び前記センサー情報に基づく前記デジタルフィルター処理を行ってもよい。

【0030】

これにより、複数のデジタルフィルター演算部を並行動作させることが可能になり、応答特性の切り替えをスムーズにすること等が可能になる。

【0031】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター部は、前記第1のデジタルフィルター演算部における処理結果と、前記第2のデジタルフィルター演算部における処理結果のうち、いずれか1つを選択し、前記補正值として出力するデジタルフィルター出力選択部を含んでもよい。

【0032】

これにより、複数のデジタルフィルター処理を並行動作させた場合にも、適切な出力値を選択することが可能になる。

【0033】

また、本発明の一態様では、第1の駆動周波数及び前記第1の駆動周波数に比べて高い周波数である第2の駆動周波数のいずれかの駆動周波数で、前記デジタルフィルター処理が行われる場合に、前記デジタルフィルター係数出力部は、前記第1の駆動周波数に対応するデジタルフィルター係数を前記第1のデジタルフィルター係数として出力するとともに、前記第2の駆動周波数に対応するデジタルフィルター係数を前記第2のデジタルフィルター係数として出力し、前記第1のデジタルフィルター演算部は、前記第1のデジタル

10

20

30

40

50

フィルター係数に基づいて、前記第1の駆動周波数で前記デジタルフィルター処理を行い、前記第2のデジタルフィルター演算部は、前記第2のデジタルフィルター係数に基づいて、前記第2の駆動周波数で前記デジタルフィルター処理を行ってもよい。

【0034】

これにより、デジタルフィルター処理の駆動周波数を切り替えること等が可能になる。

【0035】

また、本発明の一態様では、前記力制御部は、前記センサー情報に対して所与の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行い、前記帯域制限処理を行った前記センサー情報を前記第1のデジタルフィルター演算部、前記第2のデジタルフィルター演算部に出力する帯域制限部を含み、前記帯域制限部は、前記第1のデジタルフィルター演算部に対しては、第1の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行った前記センサー情報を出力するとともに、前記第2のデジタルフィルター演算部に対しては、第1の周波数帯域よりも広い周波数帯域である第2の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行った前記センサー情報を出力してもよい。

10

【0036】

これにより、センサー情報に対して、駆動周波数に対応させて帯域制限処理を行うことが可能になる。

【0037】

また、本発明の一態様では、前記デジタルフィルター係数出力部は、第1のデジタルフィルター係数と、前記第1のデジタルフィルター係数とは異なる第2のフィルター係数のうち、いずれか1つを選択する係数選択部を含み、前記デジタルフィルター係数出力部は、前記係数選択部において選択された前記デジタルフィルター係数を前記デジタルフィルター演算部に出力してもよい。

20

【0038】

これにより、複数のデジタルフィルター係数から1つを選択することができ、デジタルフィルター処理をスムーズに切り替えること等が可能になる。

【0039】

また、本発明の一態様では、第1の駆動周波数及び前記第1の駆動周波数に比べて高い周波数である第2の駆動周波数のいずれかの駆動周波数で、前記デジタルフィルター処理が行われる場合に、前記係数選択部は、前記第1の駆動周波数に対応する前記第1のデジタルフィルター係数と、前記第2の駆動周波数に対応する前記第2のデジタルフィルター係数のうち、いずれか1つを選択し、前記デジタルフィルター係数出力部は、前記係数選択部において選択された前記デジタルフィルター係数を前記デジタルフィルター演算部に出力し、前記デジタルフィルター演算部は、前記デジタルフィルター係数出力部から前記第1のデジタルフィルター係数が出力された場合には、前記第1のデジタルフィルター係数に基づいて、前記第1の駆動周波数で前記デジタルフィルター処理を行い、前記デジタルフィルター係数出力部から前記第2のデジタルフィルター係数が出力された場合には、前記第2のデジタルフィルター係数に基づいて、前記第2の駆動周波数で前記デジタルフィルター処理を行ってもよい。

30

【0040】

これにより、デジタルフィルター処理の駆動周波数を切り替えること等が可能になる。

40

【0041】

また、本発明の一態様では、前記力制御部は、前記センサー情報に対して所与の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行い、前記帯域制限処理を行った前記センサー情報を前記デジタルフィルター演算部に出力する帯域制限部を含み、前記帯域制限部は、前記第1の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理が行われる場合には、第1の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行った前記センサー情報を前記デジタルフィルター演算部に出力し、前記第2の駆動周波数による前記デジタルフィルター処理が行われる場合には、前記第1の周波数帯域よりも広い周波数帯域である第2の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行った前記センサー情報を前記デジタルフィルター演算部に出力してもよい。

50

【 0 0 4 2 】

これにより、センサー情報に対して、駆動周波数に対応させて帯域制限処理を行うことが可能になる。

【 0 0 4 3 】

また、本発明の一態様では、前記常微分方程式は、仮想質量項、仮想粘性項及び仮想弾性項を係数パラメーターとする運動方程式であってもよい。

【 0 0 4 4 】

これにより、常微分方程式として運動方程式を解いて補正値を出力することが可能になる。

【 0 0 4 5 】

また、本発明の一態様では、前記目標値出力部は、前記ロボットの目標位置情報を出力する軌道生成部と、前記軌道生成部からの前記目標位置情報に基づいてインバースキネマティクス処理を行い、前記ロボットの関節角情報を出力するインバースキネマティクス処理部と、を含んでもよい。

10

【 0 0 4 6 】

これにより、目標位置情報を求めた上で、関節角情報に変換して、変換した関節角情報に基づいてロボットのフィードバック制御の目標値を求めることが可能になる。

【 0 0 4 7 】

また、本発明の一態様では、前記力制御部は、前記センサー情報に対して前記デジタルフィルター部によるデジタルフィルター処理を行うことで、前記力制御における前記常微分方程式の解を求めて、求めた前記解を前記補正値として出力してもよい。

20

【 0 0 4 8 】

これにより、常微分方程式の解をそのまま補正値として出力することが可能になる。

【 0 0 4 9 】

また、本発明の一態様では、前記力制御部は、前記センサー情報に対して前記デジタルフィルター部によるデジタルフィルター処理を行うことで、前記力制御における前記常微分方程式の解を求めて、求めた前記解に対してインバースキネマティクス処理を施して前記補正値を出力してもよい。

【 0 0 5 0 】

これにより、常微分方程式の解に対してインバースキネマティクス処理を施すことで補正値を求め、求めた補正値を出力することが可能になる。

30

【 0 0 5 1 】

また、本発明の他の態様は、上記のいずれかに記載のロボット制御システムと、前記ロボットと、を含むロボットシステムに関係する。

【 0 0 5 2 】

また、本発明の他の態様は、センサーからのセンサー情報を取得するセンサー情報取得部と、取得された前記センサー情報に対して処理を行うセンサー情報処理部と、を含み、前記センサー情報処理部は、デジタルフィルター部を有し、前記センサー情報処理部は、前記センサー情報に対して前記デジタルフィルター部によるデジタルフィルター処理を行うことで、センサー情報処理における常微分方程式の解を求め、前記センサー情報処理の出力値として出力するセンサー情報処理装置に関係する。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 3 】

【 図 1 】 ロボット制御システム及びロボットシステムの基本構成例。

【 図 2 】 ロボットシステムの一例。

【 図 3 】 図 3 (A) ~ 図 3 (C) は力制御についての説明図。

【 図 4 】 図 4 (A) 、 図 4 (B) はコンプライアンス制御についての説明図。

【 図 5 】 図 5 (A) 、 図 5 (B) はインピーダンス制御についての説明図。

【 図 6 】 力覚フィードバックを含まない場合の制御系の基本構成例。

【 図 7 】 力覚フィードバックを含む場合の制御系の基本構成例。

50

【図 8】運動方程式の解を求める際のデジタルフィルターの基本形。

【図 9】図 9 (A) ~ 図 9 (C) は系の安定性判定手法の説明図。

【図 10】デジタルフィルターを用いたロボット制御システム及びロボットシステムの基本構成例。

【図 11】第 1 の実施形態のロボット制御システム及びロボットシステムの構成例。

【図 12】第 1 の実施形態の処理を説明するためのフローチャート。

【図 13】第 2 の実施形態のロボット制御システム及びロボットシステムの構成例。

【図 14】第 2 の実施形態の処理を説明するためのフローチャート。

【図 15】第 3 の実施形態のロボット制御システム及びロボットシステムの構成例。

【図 16】高周波から低周波への駆動周波数切り替え処理の説明図。

10

【図 17】高周波から低周波への駆動周波数切り替え処理を説明するためのフローチャート。

【図 18】低周波から高周波への駆動周波数切り替え処理の説明図。

【図 19】低周波から高周波への駆動周波数切り替え処理を説明するためのフローチャート。

【図 20】第 4 の実施形態のロボット制御システム及びロボットシステムの構成例。

【図 21】図 21 (A)、図 21 (B) は目標軌道、補正值、目標値を求める具体的なシステム構成例。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 5 4 】

20

以下、本実施形態について説明する。なお、以下に説明する本実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また本実施形態で説明される構成の全てが、本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【 0 0 5 5 】

1. 概要

1.1 基本構成

本実施形態のロボット制御システム（マニピュレーター制御システム）及びこれを含むロボットシステムの構成例を図 1 に示す。なお本実施形態のロボット制御システム、ロボットシステムは図 1 の構成には限定されず、その一部の構成要素を省略したり、他の構成要素を追加するなどの種々の変形実施が可能である。

30

【 0 0 5 6 】

本実施形態のロボット制御システムは、力制御部 20、目標値出力部 60、ロボット制御部 80 を含む。また本実施形態のロボットシステムは、このロボット制御システムと、ロボット 100（力覚センサー 10）により構成される。

【 0 0 5 7 】

目標値出力部 60 は、ロボット（狭義にはマニピュレーター）のフィードバック制御の目標値を出力する。この目標値に基づいてロボット 100 のフィードバック制御が実現される。多関節ロボット等を例に取れば、この目標値は、ロボットの関節角情報などである。ロボットの関節角情報は、例えばロボットのアームのリンク機構における各関節の角度（ジョイント軸とジョイント軸のなす角度）を表す情報である。

40

【 0 0 5 8 】

目標値出力部 60 は、軌道生成部 62 とインバースキネマティクス処理部 64 を含むことができる。軌道生成部 62 は、ロボットの軌道情報を出力する。軌道情報は、ロボットのエンドエフェクター部（エンドポイント）の位置情報（ x, y, z ）と、各座標軸回りの回転角度情報（ u, v, w ）を含むことができる。インバースキネマティクス処理部 64 は、軌道生成部 62 からの軌道情報に基づいてインバースキネマティクス処理を行い、例えばロボットの関節角情報を目標値として出力する。インバースキネマティクス処理は、関節を有するロボットの動きを計算する処理であり、ロボットのエンドエフェクター部の位置姿勢などから関節角情報等を逆運動学により計算する処理である。

【 0 0 5 9 】

50

力制御部 20 (狭義にはインピーダンス制御部)は、力覚センサー 10 からのセンサー情報に基づいて力制御(力覚制御)を行って、目標値の補正値を出力する。更に具体的には、力制御部 20 (インピーダンス制御部)は、力覚センサー 10 からのセンサー情報(力情報、モーメント情報)に基づいてインピーダンス制御(或いはコンプライアンス制御)を行う。力制御は、例えば、従来の位置制御に対して、力のフィードバックが加わった制御である。インピーダンス制御は、外力に対するエンドエフェクター部(手先)の変位の生じやすさ(機械インピーダンス)を、制御により望ましい状態にする手法である。具体的には、ロボットのエンドエフェクター部に質量と粘性係数と弾性要素が接続されるモデルにおいて、目標として設定した質量と粘性係数と弾性係数で物体に接触するようにする制御である。また力覚センサー 10 は、ロボット 100 が出している力の反力として受けている力やモーメントを検出するセンサーである。この力覚センサー 10 は、通常、ロボット 100 のアームの手首部分に取り付けられ、検出された力やモーメントは、センサー情報として、各種の力制御(インピーダンス制御)に用いられる。

10

【0060】

ロボット制御部 80 は、目標値出力部 60 からの目標値に基づいて、ロボットのフィードバック制御を行う。具体的には、力制御部 20 からの補正値に基づく補正処理の結果出力された目標値に基づいて、ロボットのフィードバック制御を行う。例えば目標値と、ロボット 100 からのフィードバック信号に基づいて、ロボット 100 のフィードバック制御を行う。例えばロボット制御部 80 は、複数の駆動制御部 82-1~82-N(狭義にはモーター制御部)を含み、ロボット 100 が有する駆動部 102-1~102-Nに対して、その制御信号を出力する。ここで駆動部 102-1~102-Nは、ロボット 100 の各関節を動かすための駆動機構であり、例えばモーター等により実現される。

20

【0061】

図 2 に本実施形態のロボット制御システムを含むロボットシステムの例を示す。このロボットシステムは、制御装置 300 (情報処理装置)とロボット 310 (図 1 のロボット 100)とを含む。制御装置 300 はロボット 310 の制御処理を行う。具体的には、動作シーケンス情報(シナリオ情報)に基づいてロボット 310 を動作させる制御を行う。ロボット 310 は、アーム 320 及びハンド(把持部) 330 を有する。そして制御装置 300 からの動作指示にしたがって動作する。例えば、図示しないパレットに載せられたワークを把持したり、移動するなどの動作を行う。また、図示しない撮像装置で取得された撮像画像情報に基づいて、ロボットの姿勢やワークの位置などの情報が検出され、検出された情報が制御装置 300 に送られる。

30

【0062】

本実施形態のロボット制御システムは例えば図 2 の制御装置 300 に設けられ、例えば制御装置 300 のハードウェアやプログラムによりロボット制御システムが実現される。そして本実施形態のロボット制御システムによれば、制御装置 300 などの制御ハードウェアに対する性能要求を低減できると共に、ロボット 310 を高い応答性で動作させることが可能になる。なお図 2 は単腕型の例であるが、双腕型等の多腕型のロボットであってもよい。

【0063】

1.2 力制御・インピーダンス制御

次に、力制御、インピーダンス制御(コンプライアンス制御)の概要について説明する。

40

【0064】

図 3 (A) は、ロボットの左のアーム AL、右のアーム AR で物体 OB を挟んで移動している様子を示している。例えば、位置制御だけでは、物体を落としたり、破壊してしまうおそれがある、力制御によれば、柔軟な物体や脆い物体を、図 3 (A) のように両側から適切な力で挟んで移動させることが可能になる。

【0065】

また、力制御によれば、図 3 (B) に示すように、不確実性のある物体の表面 SF をア

50

ーム A M 等でなぞることが可能になる。このような制御は位置制御だけでは実現不能である。また、力制御によれば、図 3 (C) に示すように、粗い位置決め後に、探って位置合わせをして、物体 O B を穴部 H L にはめ込むことも可能になる。

【 0 0 6 6 】

しかしながら、バネなどの実際の機械部品による力制御では、用途が限られるという問題がある。また、このような機械部品による力制御では、特性の動的な切り替えが困難である。

【 0 0 6 7 】

一方、モーターのトルクを制御するトルク制御は簡単であるが、位置精度が悪くなるという問題がある。また、異常時に衝突などの問題が生じる。例えば図 3 (A) において、異常事態が起きて、物体 O B を落としてしまった場合に、トルク制御では、釣合うべき反力が無くなるため、左右のアーム A L、A R が衝突してしまうなどの問題が生じる。

【 0 0 6 8 】

これに対して、インピーダンス制御 (コンプライアンス制御) は、制御が複雑であるという不利点があるものの、汎用性や安全性が高いという利点がある。

【 0 0 6 9 】

図 4 (A)、図 4 (B) は、インピーダンス制御の 1 つであるコンプライアンス制御を説明する図である。コンプライアンスはバネ定数の逆数を意味し、バネ定数が硬さを表すのに対して、コンプライアンスは柔らかさを意味する。ロボットと環境との間に相互作用が働くときに、機械的柔軟性であるコンプライアンスを与える制御をコンプライアンス制御と呼ぶ。

【 0 0 7 0 】

例えば図 4 (A) では、ロボットのアーム A M には力覚センサー S E が取り付けられている。このロボットのアーム A M は、力覚センサー S E で得られたセンサー情報 (力・トルク情報) に応じて姿勢が変わるようにプログラムされている。具体的には、図 4 (A) の A 1 に示す仮想的なバネが、あたかもアーム A M の先端に取り付けられているかのようにロボットを制御する。

【 0 0 7 1 】

例えば A 1 に示すバネのバネ定数が 1 0 0 K g / m であったとする。これを図 4 (B) の A 2 に示すように 5 K g の力で押せば、A 3 に示すようにバネは 5 c m だけ縮む。逆に言えば、5 c m だけ縮んでいれば、5 K g の力で押されているといえる。つまり、力情報と位置情報とが対応づけられている。

【 0 0 7 2 】

コンプライアンス制御では、この A 1 に示す仮想的なバネがアーム A M の先端に取り付けられているかのような制御が行われる。具体的には、ロボットは、力覚センサー S E の入力に応答して動作し、A 2 に示す 5 K g の加重に対して、A 3 に示すように 5 c m だけ後退するように制御され、力情報に対応して位置情報が変化するように制御される。

【 0 0 7 3 】

このような単純なコンプライアンス制御では時間項を含まないが、時間項を含み、その 2 次の項までを考慮した制御が、インピーダンス制御である。具体的には、2 次の項は質量項であり、1 次の項は粘性項であり、インピーダンス制御のモデルは下式 (1) に示すような運動方程式で表すことができる。

【 0 0 7 4 】

【 数 1 】

$$f(t) = m\ddot{x} + \mu\dot{x} + kx \quad \dots \dots (1)$$

【 0 0 7 5 】

上式 (1) において、m は質量、 μ は粘性係数、k は弾性係数、f は力、x は目標位置からの変位である。また x の 1 次微分、2 次微分は、各々、速度、加速度に対応する。インピーダンス制御では、上式 (1) の特性をアームの先端であるエンドエフェクター部に

10

20

30

40

50

持たせるための制御系を構成する。即ち上式(1)で表される仮想質量、仮想粘性係数、仮想弾性係数を、あたかもアームの先端が持っているかのように制御を行う。

【0076】

このように、インピーダンス制御は、アームの先端の質量に粘性要素と弾性要素が各方向に接続されるモデルにおいて、目的として設定された粘性係数と弾性係数で物体に接触するようにする制御である。

【0077】

例えば図5(A)に示すように、ロボットのアームAL、ARで物体OBをつかんで、軌道TRLに沿って移動させる制御を考える。この場合に、軌道TRLは、物体OBの左側の内側に設定された点PLが通る軌道であり、インピーダンス制御を想定して決定された仮想的な左手の軌道である。また軌道TRRは、物体OBの右側の内側に設定された点PRが通る軌道であり、インピーダンス制御を想定して決定された仮想的な右手の軌道である。この場合に、アームALは、アームALの先端と点PLの距離差に応じた力が発生するように制御される。またアームARは、アームARの先端と点PRの距離差に応じた力が発生するように制御される。このようにすれば、物体OBを柔らかくつかみながら移動させるインピーダンス制御を実現できる。そして、インピーダンス制御では、図5(A)のB1に示すように物体OBが落下する事態が生じたとしても、アームAL、ARは、B2、B3に示すように、その先端が点PL、PRの位置で止まるように制御される。即ち、仮想的な軌道が衝突軌道でなければ、アームAL、ARが衝突するのを防止できる。

【0078】

また図5(B)のように、物体の表面SFをなぞるように制御する場合にも、インピーダンス制御では、アームAMの先端に対して、仮想的な軌道TRVAと先端との距離差DFに応じた力が働くように制御される。従って、アームAMを、力を加えながら表面SFをなぞるような制御が可能になる。

【0079】

1.3 制御系の構成

図6に、力覚フィードバックを含まない場合の制御系の基本構成例を示す。

【0080】

軌道生成部562は、軌道情報 $p(xyzuvw)$ を生成してインバースキネマティクス処理部564に出力する。ここで軌道情報 p は、例えばアームの先端(エンドエフェクタ部)の位置情報 (xyz) と各軸回りの回転情報 (uvw) を含む。そしてインバースキネマティクス処理部564は、この軌道情報 p に基づいてインバースキネマティクス処理を行って、目標値である各関節の関節角を生成して出力する。そして、この関節角に基づいて、モーター制御を行うことで、ロボットのアームの動作制御が行われる。この場合に図6のモーター(M)の制御は、公知のPID制御により実現されている。このPID制御は公知の技術であるため、ここでは詳細な説明を省略する。

【0081】

図6において、軌道生成部562とインバースキネマティクス処理部564とにより目標値出力部が構成される。この目標値出力部の処理は、ロボットの全体的な処理になる。一方、後段のモーター制御は、関節毎の制御になる。

【0082】

図7に、力覚フィードバックを含む場合の制御系の基本構成例を示す。図7では、図6に対して、更に、力覚センサー510と、姿勢補正部532と、ハンド・ツール自重補正部534と、運動方程式処理部536と、フォワードキネマティクス処理部540が設けられている。

【0083】

図7では、力覚センサー510からのセンサー情報を受けて、姿勢補正部532がセンサーの姿勢補正を行い、ハンド・ツール自重補正部534がハンド・ツール自重補正を行う。そして、運動方程式処理部536が、前述の式(1)に示すような運動方程式の解を求める処理を行い、補正值 p を出力する。この補正值 p により軌道情報 p が補正され

10

20

30

40

50

ることで、目標値である関節角の補正処理が行われる。またフォワードキネマティクス処理部540は、フォワードキネマティクス処理を行って、ロボットの軌道情報p'を求めて軌道生成部562にフィードバックする。また姿勢補正部532、ハンド・ツール自重補正部534に対して姿勢を特定するための情報を出力する。なお、ロボットの軌道情報p'の軌道生成部562へのフィードバックは、p'に基づいた軌道の修正処理等を行うためのものであり、当該修正処理等を行わないのであれば、フィードバックは必ずしも必要ない。

【0084】

ハンド・ツール自重補正部534では、ハンド・ツール自重補正が行われ、姿勢補正部532では姿勢補正が行われる。ここでハンド・ツール自重補正は、ロボットのハンドの自重や、ハンドがつかむツールの自重による影響を、力覚センサー10からのセンサー情報(力情報)から相殺するための補正処理である。また姿勢補正は、力覚センサー10の姿勢による影響を、センサー情報(力情報)から相殺するための補正処理である。これらのハンド・ツール自重補正及び姿勢補正は、例えば下式(2)のように表すことができる。

10

【0085】

【数2】

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \\ f_u \\ f_v \\ f_w \\ 1.0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} & M_{xu} & M_{xv} & M_{xw} & B_x \\ M_{yx} & \ddots & & & \ddots & M_{yw} & B_y \\ M_{zx} & & & & & M_{zw} & B_z \\ M_{ux} & & & & & M_{uw} & B_u \\ M_{vx} & \ddots & & & \ddots & M_{vw} & B_v \\ M_{wx} & M_{wy} & M_{wz} & M_{wu} & M_{wv} & M_{ww} & B_w \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ F_u \\ F_v \\ F_w \\ 1.0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

20

【0086】

上式(2)において、Fx, Fy, Fz, Fu, Fv, Fwは力覚センサー10からのセンサー情報である力情報、トルク情報である。またBx, By, Bz, Bu, Bv, Bwはバイアス項である。そして、補正後のセンサー情報(力情報、トルク情報)であるfx, fy, fz, fu, fv, fwが運動方程式処理部536に入力される。なお、データには固定値があるため、実質的な補正係数は6×7=42個となる。これらのハンド・ツール自重補正及び姿勢補正は公知の補正処理であるため、詳しい説明は省略する。

30

【0087】

1.4 デジタルフィルター処理

図7の運動方程式処理部536では運動方程式(広義には常微分方程式)の解を求める必要がある。従来、運動方程式の解を求めるにはNewton法やRunge-Kutta法等が用いられていた。しかし、これらの手法はハードウェア化に適さず、安定性の判定も難しい。さらに応答性の切り替えに対応することが困難であるという問題もある。

40

【0088】

そこで本出願人は、上述の3つの問題に対応するために、常微分方程式を解く手法としてデジタルフィルターを用いる。

【0089】

1.4.1 運動方程式のデジタルフィルターを用いた解法

運動方程式は上述した式(1)の形で表される。運動方程式は線形常微分方程式であるため、インパルス入力に対する解であるインパルスレスポンスが求められれば、インパルスレスポンスと外力項との畳み込みにより、任意の外力項に対する解を得ることができる。

【0090】

50

ここで、運動方程式の解を求めるというステップを、力覚センサーのセンサー情報の入力に対して解（例えば位置情報）を出力するフィルターであると捉えるならば、上式（1）の形から、2極のアナログフィルターとして考えることができる。

【0091】

つまり、運動方程式の解はアナログフィルターの出力として求めることができるのであるから、当該アナログフィルターをデジタルフィルター化することで、運動方程式をデジタルフィルターを用いて解くことが可能になる。

【0092】

アナログフィルターのデジタルフィルター化の手法は種々知られているが、例えばImpulse Invariance法を用いればよい。これは、アナログフィルターのインパルスレスポンスを離散時間Tでサンプルした値と同じインパルスレスポンスを与えるデジタルフィルターを考える手法である。Impulse Invariance法については公知の手法であるため詳細な説明は省略する。

【0093】

以上の結果、常微分方程式の解はデジタルフィルターの出力として求めることが可能になる。運動方程式であれば、図8に示したように2極のデジタルフィルターとなる。図8において、dは1サンプル分の遅延であり、C0、C1、C2はフィルターの係数である。

【0094】

デジタルフィルターによる処理であれば、ハードウェア化は容易であるし、後述するように安定性の判定も容易である。また、デジタルフィルターの係数を切り替えれば、特性（柔らかく動かすか固く動かすか等）を切り替えることもできるし、フィルター駆動周波数を切り替えて解の応答性を切り替えることもできる。

【0095】

1.4.2 デジタルフィルターの安定度判定

インピーダンス制御においては、運動方程式の質量項（m）、粘性項（ μ ）及び弾性項（k）の設定次第では、安定でない系ができてしまう可能性がある。極端な例で言えば、ロボットに一度力を加えたら、その後一切触れていないにもかかわらずロボットの振動が継続するような、発振する系にもなりうるということである。そのような安定性（安定度）の低い系は実用上好ましくないため、運動方程式に関する系の安定性を判定し、安定でない場合には何らかの対処をする必要がある。

【0096】

しかし、上述のNewton法やRunge-Kutta法等では、運動方程式の解を求めることはできても、安定性の判定は行えない。そのため、解を求める処理とは別に安定性を判定する処理が必要となるが、一般的に安定性の判定処理は容易でないことが知られている。

【0097】

本実施形態の手法では、運動方程式を、デジタルフィルターを用いて処理するため、運動方程式に関する系の安定性の判定とは、対応するデジタルフィルターの安定性の判定に他ならない。デジタルフィルターの安定性の判定は、容易に行うことができ、極が単位円の中にあるか否かを判定すればよい。

【0098】

具体例を図9（A）～図9（C）に示す。これらはどれも極が単位円の中に収まっている例であるが、極が単位円の外にある場合には安定でない判定する。また、図9（C）のようにある程度、単位円の円周上から内側に離れた位置に極がある場合には、特に問題はない。しかし、図9（A）のように単位円にかなり近い位置に極（なお、図9（A）は重根ではなく限りなく近い位置に2つの極がある例である）がある場合には、注意が必要である。なぜなら、デジタルフィルターの実装手法によっては、設計値に対して誤差が生ずるおそれがあるからである。当該誤差が極の位置を単位円の外側方向に移動させる要因となった場合、図9（A）のような安定性に余裕のないデジタルフィルターは、設計上安

10

20

30

40

50

定であるにもかかわらず、実装時には安定でない動作をする可能性があるため、何らかの対処が必要となる。

【 0 0 9 9 】

1 . 4 . 3 デジタルフィルタを用いた場合の構成例

図 1 0 にデジタルフィルタを用いて運動方程式の解を求める場合の、ロボット制御システム及びそれを含むロボットシステムの構成例を示す。なお本実施形態のロボット制御システム、ロボットシステムは図 1 0 の構成には限定されず、その一部の構成要素を省略したり、他の構成要素を追加するなどの種々の変形実施が可能である。

【 0 1 0 0 】

力覚センサー 1 0、目標値出力部 6 0、ロボット制御部 8 0 及びロボット 1 0 0 については図 1 と同様であるため、詳細な説明は省略する。 10

【 0 1 0 1 】

力制御部 2 0 は、デジタルフィルタ部 2 2 を含む。デジタルフィルタ部 2 2 は、力覚センサーからのセンサー情報（センサー情報に対して補正処理や帯域制限処理が施された情報も含む）に対してデジタルフィルタ処理を行って、出力値を補正值として目標値出力部 6 0 に出力する。また、力制御部 2 0 はセンサー情報に対して帯域制限処理を行う帯域制限部 2 4 を含んでもよい。

【 0 1 0 2 】

デジタルフィルタ部 2 2 は、デジタルフィルタ演算部 2 2 1 と、デジタルフィルタ係数出力部 2 2 2 と、デジタルフィルタ安定度判定部 2 2 3 を含む。デジタルフィルタ演算部 2 2 1 は、センサー情報とデジタルフィルタ係数に基づいて、デジタルフィルタ処理を行って運動方程式の解を求める。デジタルフィルタ係数出力部 2 2 2 は、運動方程式の係数パラメータ（質量項 m 、粘性項 μ 、弾性項 k 及び駆動周期 T ）に基づいて、デジタルフィルタ係数を求め、デジタルフィルタ演算部 2 2 1 とデジタルフィルタ安定度判定部 2 2 3 に出力する。デジタルフィルタ安定度判定部 2 2 3 は、デジタルフィルタ係数に基づいて、当該デジタルフィルタの安定性の判定を行う。 20

【 0 1 0 3 】

デジタルフィルタ係数出力部 2 2 2 は、デジタルフィルタ係数記憶部 2 2 4 と、デジタルフィルタ係数変換部 2 2 5 を含んでもよい。デジタルフィルタ係数変換部 2 2 5 は、運動方程式の係数パラメータをデジタルフィルタ係数に変換する。デジタルフィルタ係数記憶部 2 2 4 は、変換されたデジタルフィルタ係数を記憶する。デジタルフィルタ係数記憶部 2 2 4 に複数のデジタルフィルタ係数を記憶しておけば、出力するデジタルフィルタ係数を切り替えることで、ロボットの動作特性や、解の応答性を切り替えることが可能になる。 30

【 0 1 0 4 】

以下、図 1 0 の構成を基本とし、第 1 ~ 第 4 の実施形態について説明する。第 1 の実施形態は、本発明の基本形である。第 2 の実施形態は、複数のフィルタを切り替える場合において、複数フィルタを並行動作させる例である。具体的にはデジタルフィルタ演算部 2 2 1 が複数ある構成となる。第 3 の実施形態は、複数のフィルタを切り替える場合において、1 つのデジタルフィルタ演算部 2 2 1 を用いる例である。この場合、駆動周波数を切り替える際に、切り替え用の処理を行う必要がある。第 4 の実施形態は、複数のフィルタを切り替える際のフィルタ選択処理を、センサー情報に基づいて行う例である。 40

【 0 1 0 5 】

2 . 第 1 の実施形態

2 . 1 構成

図 1 1 に第 1 の実施形態にかかるロボット制御システムを含むロボットシステムの構成例を示す。

【 0 1 0 6 】

力覚センサー 1 0、軌道生成部 6 2、インバースキネマティクス処理部 6 4、モーター 50

制御部 8 2 - 1 等については図 1 と同様であるため詳細な説明は省略する。また、入力補正部 3 0 はセンサー情報に対して補正処理を行うもので、例えば図 7 の姿勢補正部 5 3 2 やハンド・ツール自重補正部 5 3 4 等を含んでもよい。フォワードキネマティクス処理部 4 0 は図 7 のフォワードキネマティクス処理部 5 4 0 に対応し、フォワードキネマティクス処理の結果を入力補正部 3 0 に出力するとともに、必要に応じて軌道生成部 6 2 にも出力する。

【 0 1 0 7 】

また、ロボット制御システムは、デジタルフィルター演算部 2 2 1 と、デジタルフィルター安定度判定部 2 2 3 と、デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 と、デジタルフィルター係数変換部 2 2 5 と、応答特性入力部 2 2 6 と、フィルター状態記憶部 2 2 7 とを含み、具体的にはこれらは力制御部 2 0 のデジタルフィルター部 2 2 に含まれる。

10

【 0 1 0 8 】

デジタルフィルター演算部 2 2 1、デジタルフィルター安定度判定部 2 2 3、デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4、デジタルフィルター係数変換部 2 2 5 については図 1 0 を用いて説明したため詳細については省略する。

【 0 1 0 9 】

応答特性入力部 2 2 6 は、デジタルフィルター係数変換部 2 2 5 に対して運動方程式の係数パラメーター (m 、 μ 、 k) 及び駆動周期 T (駆動周波数) を出力する。

【 0 1 1 0 】

フィルター状態記憶部 2 2 7 は、フィルター状態を記憶する。ここで、フィルター状態とは、デジタルフィルター演算部 2 2 1 の出力 (つまり運動方程式の解) である。上述したように、運動方程式は 2 極のデジタルフィルターに対応し、具体的には図 8 のようになる。図 8 から明らかなように、このデジタルフィルターは 2 回遅延がかかるため、あるタイミングにおける出力値を求めるためには、1 タイミング前の出力値と 2 タイミング前の出力値が必要となる。フィルター状態記憶部 2 2 7 はそれらを記憶するものであり、デジタルフィルター演算部 2 2 1 の出力を記憶するとともに、デジタルフィルター演算部 2 2 1 に対して過去の出力値を送る。

20

【 0 1 1 1 】

2 . 2 詳細な処理

次に本実施形態の詳細な処理例について図 1 2 のフローチャートを用いて説明する。図 1 2 は、デジタルフィルター部 2 2 における処理についてのフローチャートである。

30

【 0 1 1 2 】

この処理が開始されると、まず出力のタイミング待ちを行ってから (S 1 0 1)、外力値 F を取得する (S 1 0 2)。ここでの外力値 F は力覚センサー 1 0 からのセンサー情報に対して入力補正部 3 0 による補正処理が施されたものとする。

【 0 1 1 3 】

次に取得した F を用いて運動方程式の解を求める (S 1 0 3)。具体的には、フィルター状態記憶部 2 2 7 において、1 ステップ前のデジタルフィルター演算部 2 2 1 の出力 Y_{n-1} を Y_{n-2} の値とするとともに、 Y_n の値を Y_{n-1} に上書きする。そして、デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 から出力されたデジタルフィルター係数 (C_0 、 C_1 、 C_2) と、フィルター状態記憶部 2 2 7 から出力された過去の出力値 (Y_{n-1} 、 Y_{n-2}) から、出力値 Y_n を求める処理をデジタルフィルター演算部 2 2 1 で行う。

40

【 0 1 1 4 】

以上がある 1 タイミングでの運動方程式の解を求める処理となる。1 タイミングの処理後に、次のタイミングにおける応答特性を変更するかの判定を行い (S 1 0 4)、変更しない場合には S 1 0 1 に戻る。変更する場合には、まず応答特性入力部 2 2 6 から応答特性のパラメーター (m 、 μ 、 k 、 T) を取得し (S 1 0 5)、デジタルフィルター係数変換部 2 2 5 においてデジタルフィルター係数を計算する (S 1 0 6)。そして、計算したデジタルフィルター係数に基づいて、デジタルフィルター安定度判定部 2 2 3 においてデジタルフィルターの安定性を判定する (S 1 0 7)。フィルターが安定でない場合には、

50

デジタルフィルタ係数記憶部 224 に記憶することなく S 101 に戻る。つまり、次ステップにおいても応答特性は変更されない。S 107 でフィルタが安定であると判定された場合には、デジタルフィルタ係数記憶部 224 にデジタルフィルタ係数を記憶し (S 108)、S 101 に戻って更新したデジタルフィルタ係数で次のステップの処理を行う。

【0115】

以上の本実施形態では、ロボット制御システムは、図 10 に示したように力覚センサー 10 からのセンサー情報に基づいて、ロボットの目標軌道についての補正值を出力する力制御部 20 と、目標軌道を補正值に基づいて補正することで目標値を出力する目標値出力部 60 と、目標値に基づいてロボット 100 のフィードバック制御を行うロボット制御部 80 と、を含む。そして力制御部 20 はデジタルフィルタ部 22 を有し、センサー情報に対してデジタルフィルタ部 22 によるデジタルフィルタ処理を行うことで、力制御における常微分方程式の解を求めて、求めた解に基づいて補正值を出力する。

【0116】

ここで、目標値とはロボット 100 のフィードバック制御における目標値のことであり、ロボット制御部 80 における制御はこの目標値に基づいて行われる。目標値は目標軌道に対して補正值による補正処理を行うことで取得できる。なお目標軌道とは、狭義にはロボットのエンドエフェクター部 (エンドポイント) の空間的な目標位置の変化を表すものであってもよい。1 つの目標位置は、例えば 3 次元空間座標 $x y z$ (姿勢も考慮すれば各軸周りの回転角 $u v w$ を追加してもよい) で表されることになり、目標軌道とは当該目標位置の集合となる。ただし、目標軌道はこれに限定されるものではなく、ロボットの目標関節角の集合であってよい。関節を持つロボットでは、各関節の角度を決定すると、フォワードキネマティクス処理によりエンドエフェクター部の位置は一意に決定される。つまり、N 関節ロボットでは N 個の関節角 (1 ~ N) により 1 つの目標位置を表現することになるから、当該 N 個の関節角の組を 1 つの目標関節角とすれば、目標軌道とは目標関節角の集合と考えることができる。よって、力制御部 20 から出力される補正值も、位置に関する値であってよいし、関節角に関する値であってよい。

【0117】

具体例を図 21 (A)、図 21 (B) に示す。デジタルフィルタ処理により解を求める対象となる常微分方程式として、上式 (1) の運動方程式を用いるのであれば、当該運動方程式の解は位置に関する値となる。よって、目標軌道が目標位置である場合には、解をそのまま補正值とすればよく、システム構成例は図 21 (A) のようになる。なお、目標値は位置に関する値でも関節角に関する値でもよいが、一般的にはロボットのフィードバック制御は関節角を用いることが想定される。

【0118】

それに対して、目標値出力部 60 のインバースキネマティクス処理部 64 とは別に、力制御部 20 がインバースキネマティクス処理部 29 を含む図 21 (B) のようなケースも考えられる。例えば、目標値出力部 60 での目標軌道生成処理と、力制御部 20 での補正值出力処理とで、処理のタイミングや処理レートが異なる場合等である。その場合には、目標軌道は目標関節角であり、力制御部 20 では運動方程式の解に対して変換処理 (例えばインバースキネマティクス処理) を行って補正值とすることになる。

【0119】

また、力制御における常微分方程式とは、力制御において解を求める必要がある常微分方程式のことである。狭義には線形常微分方程式であってよい。さらに狭義には、ロボット 100 にあたかも所望の特性 (質量・粘性・弾性等) を持つようにふるまわせるために解を求める必要がある常微分方程式のことであり、式 (1) に示したような運動方程式であってよい。

【0120】

これにより、力制御において必要な、常微分方程式の解を求めるという処理を、デジタルフィルタを用いて行うことが可能になる。Newton 法、Runge - Kutta

10

20

30

40

50

法等の手法を用いる場合に比べて、ハードウェア化が容易であり、上述したように安定性の判定も容易である。さらに、デジタルフィルタ処理に用いるデジタルフィルタを切り替える（例えばフィルタ係数を切り替える）ことで、簡単に応答特性を切り替えることも可能となる。

【 0 1 2 1 】

また、デジタルフィルタ部 2 2 は、図 1 0 に示したように常微分方程式の各項の係数パラメータに基づいてデジタルフィルタ係数を出力するデジタルフィルタ係数出力部 2 2 2 と、デジタルフィルタ係数及びセンサー情報に基づいてデジタルフィルタ処理を行うデジタルフィルタ演算部 2 2 1 とを含んでもよい。

【 0 1 2 2 】

ここで、常微分方程式の各項の係数パラメータとは、常微分方程式における定数項、1 階微分項の係数、2 階微分項の係数、 \dots n 階微分項の係数を指すものとする。上述した式 (1) の例であれば、 m 、 μ 、 k が係数パラメータとなる。また、デジタルフィルタ処理に用いられるセンサー情報とは、力覚センサー 1 0 からの出力値そのものであってもよいし、当該出力値に対して入力補正部 3 0 (図 1 1 に記載) による補正処理が施されたものであってもよい。また、帯域制限部 2 4 (図 1 0 に記載) による帯域制限処理が施されたものであってもよい。

【 0 1 2 3 】

これにより、デジタルフィルタ処理に必要なデジタルフィルタ係数を出力した上で、当該デジタルフィルタ係数及びセンサー情報に基づくデジタルフィルタ処理が可能となる。

【 0 1 2 4 】

また、デジタルフィルタ係数出力部 2 2 2 は、図 1 0 、図 1 1 に示したように、常微分方程式の係数パラメータをデジタルフィルタ係数に変換するデジタルフィルタ係数変換部 2 2 5 と、デジタルフィルタ係数を記憶するデジタルフィルタ係数記憶部 2 2 4 を含んでもよい。そして、デジタルフィルタ係数出力部 2 2 2 は、デジタルフィルタ係数記憶部 2 2 4 に記憶されたデジタルフィルタ係数を出力する。

【 0 1 2 5 】

これにより、常微分方程式の係数パラメータから、デジタルフィルタ係数を求めることが可能になる。力制御を行う際には、まず当該力制御に必要な常微分方程式が決定される。例えば、ロボット 1 0 0 にとらせたい物理的な特性が決まれば、上式 (1) の m 、 μ 、 k に具体的な数値が入れられた運動方程式が決定されることになる。しかし、常微分方程式の係数パラメータとデジタルフィルタ係数とは異なるものであるため、常微分方程式が決定されたら、当該常微分方程式の解を求めるデジタルフィルタ (具体的にはデジタルフィルタ係数) を求める処理が必要となる。本実施形態では、この処理をデジタルフィルタ係数変換部 2 2 5 で行う。

【 0 1 2 6 】

また、デジタルフィルタ部 2 2 は、図 1 0 に示したように、デジタルフィルタ処理に用いられるデジタルフィルタの安定度 (安定性) を判定するデジタルフィルタ安定度判定部 2 2 3 を含んでもよい。そして、デジタルフィルタ係数出力部 2 2 2 は、デジタルフィルタが安定であると判定された場合に、デジタルフィルタ係数を出力する。

【 0 1 2 7 】

これにより、デジタルフィルタの安定性を判定することが可能になる。力制御における常微分方程式の係数パラメータは、設定次第では現実にはあり得ない系 (例えば発振するロボット等) を作ってしまうことがある。そのため、常微分方程式の安定性を判定する必要があるが、デジタルフィルタを用いれば、その判定が容易となる。詳細については上述したとおりである。

【 0 1 2 8 】

また、本実施形態ではデジタルフィルタの駆動周波数の切り替えについては述べていない (第 2 、第 3 の実施形態で後述している) が、図 1 0 に示した基本構成を用いて駆動

10

20

30

40

50

周波数の切り替えを行うことを妨げるものではない。具体的には、第1の駆動周波数と、第1の駆動周波数よりも高い周波数である第2の駆動周波数の間で駆動周波数を切り替えながらデジタルフィルター処理を行ってもよい。その場合、デジタルフィルター係数出力部222は、第1の駆動周波数に対応する第1のデジタルフィルター係数及び第2の駆動周波数に対応する第2のデジタルフィルター係数の少なくとも一方を出力する。デジタルフィルター演算部221は、出力されたデジタルフィルター係数に応じて、第1のデジタルフィルター係数を用いた第1の駆動周波数によるデジタルフィルター処理、及び第2のデジタルフィルター係数を用いた第2の駆動周波数によるデジタルフィルター処理の少なくとも一方を行う。

【0129】

これにより、デジタルフィルター処理の駆動周波数の切り替えが可能になる。駆動周波数を切り替えることで、常微分方程式の解の応答性を切り替えることができる。

【0130】

また、本実施形態での常微分方程式は、仮想質量項、仮想粘性項、仮想弾性項を係数パラメータとする運動方程式であってもよい。

【0131】

これにより、運動方程式の解を求めることが可能になる。よって、ロボット100に対して、あたかも仮想質量項に対応する質量、仮想粘性項に対応する粘性、仮想弾性項に対応する弾性を持つかのようにふるまわせることが可能になる。

【0132】

また、目標値出力部60は、図10に示したように、ロボット100の目標位置情報を出力する軌道生成部62と、軌道生成部62からの目標位置情報に基づいてインバースキネマティクス処理を行い、ロボット100の関節角情報を出力するインバースキネマティクス処理部64を含んでもよい。

【0133】

ここで、目標位置情報とは、ロボット100（狭義にはロボット100のエンドエフェクター部）の目標位置に関する情報であり、目標位置は例えばxyz（姿勢に関するuvwを含んでもよい）により表される。目標位置情報は、1つの目標位置の情報であってもよいが、ロボット100の時間的な位置変化（移動経路）を表す複数の目標位置の情報であってもよい。

【0134】

これにより、ロボット100の目標位置情報を出力した上で、インバースキネマティクス処理を行って関節角情報に変換することが可能になる。軌道生成部62によりロボット100の目標位置情報を生成することで、ロボット100を計画的に制御することができる。しかし、ロボット100を柔軟に移動させるためには関節を持たせることは自然であり、その場合一般的に関節の角度を制御することでロボット制御を行う。よって、目標位置情報を直接目標値とすることは難しく、関節角情報に変換するインバースキネマティクス処理部64が必要となる。

【0135】

また、以上の本実施形態は、上述してきたロボット制御システム（力制御部20、目標値出力部60、ロボット制御部80を含む）と、ロボット100を含むロボットシステムに関係する。

【0136】

これにより、ロボット制御装置にとどまらず、本実施形態の処理を実行するロボットシステムを実現することが可能になる。

【0137】

また、以上の本実施形態は、センサーからのセンサー情報を取得するセンサー情報取得部と、取得されたセンサー情報に対して処理を行うセンサー情報処理部とを含むセンサー情報処理装置に適用できる。センサー情報処理部は、デジタルフィルター部を含み、センサー情報に対してデジタルフィルター部によるデジタルフィルター処理を行うことで、セ

10

20

30

40

50

ンサー情報処理における常微分方程式の解を求め、センサー情報処理の出力値として出力する。

【0138】

以上の説明では、センサー情報処理装置として、ロボット制御システムに適用した場合について説明した。ロボット制御システムでは、センサー情報処理装置は図10等における力制御部20に相当し、センサーは力覚センサー10に相当する。センサー情報取得部は特に図示されていないが、力覚センサー10と接続されているブロック(図10の場合は帯域制限部24)が兼ねてもよい。また、センサー情報処理部は、図10のデジタルフィルター部22に対応し、さらに帯域制限部24や図11の入力補正部30等を含んでもよい。ただし、センサー情報処理装置は、ロボット制御システムへの適用に限定されるものではなく、他の制御システムに適用されてもよい。その場合、センサー情報に対するセンサー情報処理(デジタルフィルター処理を含む)に基づいて、制御で使用される情報を出力することになる。さらに言えば、センサー情報処理装置は制御システムへの適用に限定されず、他のシステム(装置)に用いられてもよい。例えば、センサーを用いて種々の情報を検出する検出システム等に用いられてもよい。

10

【0139】

ここで、センサー情報処理とは、センサーからの出力値に対して何らかの処理を施して、有用な情報を求める処理のことであり、少なくとも常微分方程式の解を求める処理が含まれる。例えば、ロボット制御システムでは、力覚センサーにかかる力情報から補正值(例えばロボットの目標位置の補正值)を求めるような、物理的に意味の異なる情報への変換処理となる。また、検出システムであれば、検出精度を高める処理(例えば、センサー情報に含まれるノイズを低減する処理)等が考えられる。

20

【0140】

なお、センサー情報処理装置の適用がロボット制御システムに限定されないように、センサー情報を出力するセンサーも力覚センサーに限定されるものではない。例えば、加速度センサーや角速度センサー、方位センサー、生体センサー(脈拍センサー等)、GPS等であってもよい。

【0141】

これにより、センサー情報に対するデジタルフィルター処理により、常微分方程式の解を求め、出力値を出力するセンサー情報処理装置を実現することが可能になる。このセンサー情報処理装置は例えばセンサーを含むICチップ等として実現されてもよい。センサー情報そのものではなく、センサー情報を用いた常微分方程式の解等を出力できるため、他のシステム等と組み合わせた際に、装置の出力値の有用性が増すことになる。

30

【0142】

3. 第2の実施形態

本実施形態においては、デジタルフィルターの駆動周波数を切り替えることを想定している。例えば、帯域制限に応じて駆動周波数を切り替えることが考えられる。一般的に力覚センサーのセンサー情報にはノイズが多い。そのため帯域制限処理を行うことが望ましいが、通過帯域の広さは状況によって異なる(ノイズに対して大きい信号値が得られるのであれば、帯域制限処理は軽めでよく、通過帯域を広くできる)。通過帯域を狭くするほどノイズは減るが、応答特性も悪化するため、通過帯域に対応させてデジタルフィルターの駆動周波数も切り替える必要がある。具体的には、通過帯域を広くした場合には高い駆動周波数で動作させ、通過帯域を狭くした場合には低い駆動周波数で動作させることになる。

40

【0143】

本実施形態では、デジタルフィルター演算部221を複数設け、それぞれに通過帯域の異なる帯域制限処理を施したセンサー情報を入力し、異なる駆動周波数で動作させる。つまり、駆動周波数の異なる2つのフィルターを並行動作させておき、状況に応じて適切なフィルターを選択する。なお、以下の説明では2つのフィルターを並行動作させる例について述べるが、並行動作させるデジタルフィルターは3つ以上であってもよい。

50

【 0 1 4 4 】

3 . 1 構成

図 1 3 に第 2 の実施形態にかかるロボット制御システムを含むロボットシステムの構成例を示す。

【 0 1 4 5 】

第 1 の実施形態 (図 1 1) と同様の箇所については詳細な説明は省略する。第 1 の実施形態と比較した場合、デジタルフィルター演算部 2 2 1 が 2 つ (2 2 1 - 1、2 2 1 - 2)、デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 が 2 つ (2 2 4 - 1、2 2 4 - 2)、フィルター状態記憶部 2 2 7 が 2 つ (2 2 7 - 1、2 2 7 - 2) ある点が異なる。また、デジタルフィルター部 2 2 は、帯域制限部 2 4 - 1、2 4 - 2 及びデジタルフィルター出力選択部 2 2 0 を含む。

10

【 0 1 4 6 】

帯域制限部 2 4 - 1 は、センサー情報に対して第 1 の周波数帯域を通過帯域とする帯域制限処理を行いデジタルフィルター演算部 2 2 1 1 に出力する。帯域制限部 2 4 - 2 は、センサー情報に対して第 1 の周波数帯域とは異なる第 2 の周波数帯域を通過帯域とする帯域制限処理を行いデジタルフィルター演算部 2 2 1 2 に出力する。

【 0 1 4 7 】

デジタルフィルター出力選択部 2 2 0 は、デジタルフィルター演算部 2 2 1 1 とデジタルフィルター演算部 2 2 1 2 の出力を受け付け、どちらか一方を選択し、選択した値をデジタルフィルター部 2 2 の出力値として出力する。

20

【 0 1 4 8 】

デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 - 1 は、図 1 2 の S 1 0 5 ~ S 1 0 7 の処理を行った結果、安定と判定された第 1 のデジタルフィルター係数を記憶する。同様にデジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 - 2 は、第 1 のデジタルフィルター係数とは異なる第 2 のデジタルフィルター係数を記憶する。

【 0 1 4 9 】

デジタルフィルター演算部 2 2 1 - 1 では、デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 - 1 に記憶された第 1 のデジタルフィルター係数と、帯域制限部 2 4 - 1 から出力された帯域制限処理後のセンサー情報と、フィルター状態記憶部 2 2 7 1 から出力された過去の出力値とに基づいて、デジタルフィルター処理を行う。

30

【 0 1 5 0 】

同様に、デジタルフィルター演算部 2 2 1 - 2 では、デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 - 2 に記憶された第 2 のデジタルフィルター係数と、帯域制限部 2 4 - 2 から出力された帯域制限処理後のセンサー情報と、フィルター状態記憶部 2 2 7 2 から出力された過去の出力値とに基づいて、デジタルフィルター処理を行う。つまり、2 つのデジタルフィルターが並列動作することになる。

【 0 1 5 1 】

3 . 2 詳細な処理

次に本実施形態の詳細な処理例について図 1 4 のフローチャートを用いて説明する。図 1 4 は、デジタルフィルター部 2 2 における処理についてのフローチャートである。

40

【 0 1 5 2 】

この処理が開始されると、まず出力のタイミング待ちを行ってから (S 2 0 1)、外力値 F を取得する (S 2 0 2)。ここでの外力値 F は力覚センサー 1 0 からのセンサー情報に対して入力補正部 3 0 による補正処理が施されたものとする。

【 0 1 5 3 】

次に、並列動作しているフィルターの全てについて処理を行ったかを判定する (S 2 0 3)。未処理のフィルターが残っている場合には、当該フィルターを選択し (S 2 0 4)、帯域制限部 (2 4 - 1 等のうち対応するもの) において選択したフィルターに対応する帯域制限処理を行う (S 2 0 5)。そして選択したフィルターに対応するデジタルフィルター演算部において、帯域制限処理が施されたセンサー情報を入力値としてデジタルフィ

50

ルター処理が行われる（S206）。S206の詳細についてはS103と同様である。処理後S203に戻る。

【0154】

S203において、全てのフィルターが処理済みであると判定された場合には、デジタルフィルター出力選択部220において、複数のフィルターの中から出力フィルターを選択し（S207）、選択されたフィルターの出力値を出力する（S208）。S208の処理後、S201に戻る。

【0155】

以上の本実施形態では、デジタルフィルター部22は、図13に示したようにデジタルフィルター演算部221として、第1のデジタルフィルター演算部（221-1）と、第2のデジタルフィルター演算部（221-2）を含む。デジタルフィルター係数出力部222は、第1のデジタルフィルター演算部に第1のデジタルフィルター係数を出力し、第2のデジタルフィルター演算部に第2のデジタルフィルター係数を出力する。そして、第1のデジタルフィルター演算部では第1のデジタルフィルター係数及びセンサー情報に基づくデジタルフィルター処理を行い、第2のデジタルフィルター演算部では第2のデジタルフィルター係数及びセンサー情報に基づくデジタルフィルター処理を行う。

10

【0156】

これにより、複数のデジタルフィルター処理を並行して行うことが可能になる。そのため、ロボットの特性を切り替えるためのデジタルフィルター係数の切り替えを行う際にも、切り替え前後のデジタルフィルター処理をあらかじめ並行動作させておくことができるため、切り替えがスムーズに行える。また、駆動周波数の切り替えの際も、後述する第3の実施形態のような切り替え処理をする必要がない。

20

【0157】

また、デジタルフィルター部22は、図13に示したように、第1のデジタルフィルター演算部における処理結果と、第2のデジタルフィルター演算部における処理結果のうちいずれか1つを選択して補正值として出力するデジタルフィルター出力選択部220を含んでもよい。

【0158】

これにより、複数のデジタルフィルターが並行動作している場合にも、適切なデジタルフィルターを選択し、選択したデジタルフィルターの処理結果を補正值として出力することが可能になる。デジタルフィルターの選択は、力制御の内容（例えばロボット100の振る舞い）に直結するため、ユーザーの所望する制御になるように、適切なデジタルフィルターを選択する必要がある。

30

【0159】

また、第1の駆動周波数と第2の駆動周波数（第1の駆動周波数よりも高周波であるものとする）のいずれかの駆動周波数でデジタルフィルター処理を行ってもよい。その場合、デジタルフィルター係数出力部222は、第1のデジタルフィルター係数として第1の駆動周波数に対応する値を出力し、第2のデジタルフィルター係数として第2の駆動周波数に対応する値を出力する。そして、第1のデジタルフィルター演算部は、第1のデジタルフィルター係数を用いて第1の駆動周波数によるデジタルフィルター処理を行い、第2のデジタルフィルター演算部は、第2のデジタルフィルター係数を用いて第2の駆動周波数によるデジタルフィルター処理を行う。

40

【0160】

これにより、デジタルフィルター処理の駆動周波数を切り替えることが可能になる。駆動周波数を切り替えることで、常微分方程式の解の応答性を切り替えることができる。本実施形態においては、切り替え前も切り替え後も、第1の駆動周波数によるデジタルフィルター処理と第2の駆動周波数によるデジタルフィルター処理を並行して行っているため、切り替えをスムーズに行うことができる。

【0161】

また、力制御部20は、図10に示したように、センサー情報に対して所与の周波数帯

50

域を通過させる帯域制限処理を行い、帯域制限処理を行ったセンサー情報をデジタルフィルター演算部に出力する帯域制限部 2 4 を含んでもよい。そして、帯域制限部 2 4 は、第 1 のデジタルフィルター演算部に対しては、第 1 の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行ったセンサー情報を出力し、第 2 のデジタルフィルター演算部に対しては、第 2 の周波数帯域（第 1 の周波数帯域よりも広い周波数帯域）を通過させる帯域制限処理を行ったセンサー情報を出力する。

【 0 1 6 2 】

なお、帯域制限部 2 4 は、図 1 3 に示したように帯域制限部 2 4 1 と、帯域制限部 2 4 2 から構成されてもよい。

【 0 1 6 3 】

これにより、駆動周波数にあわせて、センサー情報に対して帯域制限処理を施すことが可能になる。具体的には、駆動周波数が高いほど通過帯域幅は広くなり、駆動周波数が低いほど通過帯域幅は狭くなる。これは上述したように、帯域制限処理を強くするほど、応答特性が悪化することによる。なお、このように帯域制限処理の強度と駆動周波数は対応関係を持つことになるが、どちらが先に決定されてもよい。センサー情報にノイズが多くっている場合には、ノイズ除去のため帯域制限処理を強くかけるとよい。つまり、ノイズ量の観点から、まず帯域制限処理の強度が決定され、それに応じて駆動周波数が決定されるケースがある。それに対して、常微分方程式の解の応答性から、駆動周波数が先に決定され（例えばすぐに解がほしいため駆動周波数を高くする等）、それに応じて帯域制限処理の強度が決定されるケースもある。

【 0 1 6 4 】

4 . 第 3 の実施形態

本実施形態においては、第 2 の実施形態と同様にデジタルフィルターの駆動周波数を切り替えることを想定している。本実施形態では、デジタルフィルター処理を行うデジタルフィルター演算部 2 2 1 が 1 つである構成について説明する。デジタルフィルター演算部 2 2 1 が 1 つの場合には、駆動周波数を切り替える際に切り替え処理を行う必要がある。具体的には、高周波から低周波への切り替えと、低周波から高周波への切り替えに分けて後述する。

【 0 1 6 5 】

4 . 1 構成

図 1 5 に第 3 の実施形態にかかるロボット制御システムを含むロボットシステムの構成例を示す。第 2 の実施形態（図 1 3）と同様の箇所については詳細な説明は省略する。第 2 の実施形態と比較した場合、デジタルフィルター演算部 2 2 1 が 1 つである点が異なる。また、入力選択部 2 5、係数選択部 2 2 8 及び状態選択・処理部 2 2 9 を含む。

【 0 1 6 6 】

係数選択部 2 2 8 は、デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 - 1 から出力された第 1 のデジタルフィルター係数と、デジタルフィルター係数記憶部 2 2 4 - 2 から出力された第 2 のデジタルフィルター係数のうち、デジタルフィルター処理に用いる係数を 1 つ選択し、選択したデジタルフィルター係数をデジタルフィルター演算部 2 2 1 に出力する。これは、複数のデジタルフィルターの中から、出力に用いられる出力フィルターを選択しているということもできる。

【 0 1 6 7 】

状態選択・処理部 2 2 9 は、係数選択部 2 2 8 で選択されたデジタルフィルター係数に対応するデジタルフィルター（以下、出力フィルター）のフィルター状態に関する処理を行う。具体的には、出力フィルターに対応するフィルター状態記憶部から、出力フィルターを用いたデジタルフィルター処理の過去の出力値を取得し、デジタルフィルター演算部 2 2 1 に出力する。さらに、デジタルフィルター演算部 2 2 1 の出力値を、出力フィルターに対応するフィルター状態記憶部に出力する。

【 0 1 6 8 】

上述したように、本実施形態のデジタルフィルター処理では過去のタイミングにおける

10

20

30

40

50

出力値を用いる必要がある。その際、あるデジタルフィルターが出力フィルターとして選択された場合には、当然のことながら選択された当該デジタルフィルターの過去の出力値を用いなければならない。つまり、係数選択部 228 において第 i のデジタルフィルターに対応するデジタルフィルター係数を選択しながら、状態選択・処理部 229 において第 i とは異なる第 k のデジタルフィルターに対応するフィルター状態を選択することはできない。よって、係数選択部 228 及び状態選択・処理部 229 はともに複数の候補の中から 1 つを選択する処理を行うものであるが、選択処理は独立に行われるのではなく、同一のデジタルフィルターに対応する候補を選択するような拘束条件を考慮する必要がある。

【0169】

また、入力選択部 25 は、帯域制限部 24-1 及び帯域制限部 24-2 からの出力の中から 1 つを選択しデジタルフィルター演算部 221 に出力する。ここでも、出力フィルターに対応したものを選択することになる。デジタルフィルターの駆動周波数と帯域制限処理の通過帯域幅との関係は、第 2 の実施形態において上述したとおりである。つまり、出力フィルターが選択されたら、帯域制限処理の通過帯域も決定されることになり、入力選択部 25 は対応する帯域制限部からの出力を選択する。以上のことから、係数選択部 228 及び状態選択・処理部 229 だけでなく、入力選択部 25 についても出力フィルターの選択に基づいた選択処理が行われることになる。

【0170】

4.2 詳細な処理

4.2.1 高周波から低周波への切り替え

本実施形態においては、駆動周波数の切り替えの際に切り替え処理を行う必要がある。まず、高周波（短周期）から低周波（長周期）への切り替えについて説明する。

【0171】

図 16 に示したように A1 のタイミングで駆動周波数を切り替えることを考える。その際、切り替え後の低周波フィルターでの出力値を求めるには、A2 及び A3 で示した過去 2 タイミングでの、低周波フィルターの出力値が必要となる。

【0172】

駆動周波数が異なっても、サンプリングのレートが異なるだけであり、サンプリング点を滑らかにつないだ波形は同一になるはずである。つまり、図 16 の例のように高周波が低周波の 10 倍のサンプリングレートであるとすれば、高周波フィルターにおける 10 タイミング前及び 20 タイミング前の出力値を保持しておけば、低周波フィルターにおける 1 タイミング前及び 2 タイミング前の出力値を取得することができる。

【0173】

しかし、フィルター状態記憶部 227 が過去 2 タイミング分の出力値しか記憶しないことを前提とすると問題が生じる。つまり、切り替え前は高周波フィルターが動作していたのであるから、A4（高周波フィルターでの 1 タイミング過去のタイミング）及び A5（高周波フィルターでの 2 タイミング過去のタイミング）に示したように高周波フィルターにおける過去 2 タイミングの情報しか保持しておらず、A2・A3 で示したタイミングの出力値は失われてしまっている。

【0174】

そこで本実施形態では、切り替え時に切り替え期間を設け、当該切り替え期間内では高周波フィルターと低周波フィルターを並行動作させる。図 16 で言えば、A3 のタイミングにおいて切り替え指示を出し、A3 から A1 までの期間では 2 つのフィルターを並行動作させる。そのようにした上で、A1 のタイミングでフィルターの切り替えを行う。このようにすれば、A1 までの間は高周波フィルターを用いた出力を継続しつつ、低周波フィルターの A3、A2 での出力値を取得できるため、A1 において低周波フィルターの出力に必要な値がそろふことになり、問題なく切り替え処理を行うことができる。

【0175】

なお、上述したように高周波フィルターと低周波フィルターはサンプリングレートが異なるだけであり、同一タイミングにおける出力は同一のはずである。よって、並行動作と

10

20

30

40

50

いっても、低周波フィルターのデジタルフィルター係数を用いた演算は必要なく、演算は高周波フィルターに関して行えばよい。そして、高周波フィルターの出力値のうち、A3 タイミング及びA2 タイミングにおける値を、低周波フィルターに対応するフィルター状態記憶部に記憶する。

【0176】

次に本実施形態の詳細な処理例について図17のフローチャートを用いて説明する。図17は、デジタルフィルター部22における処理についてのフローチャートである。

【0177】

この処理が開始されると、まず出力のタイミング待ちを行ってから(S301)、外力値Fを取得する(S302)。ここでの外力値Fは力覚センサー10からのセンサー情報に対して入力補正部30による補正処理が施されたものとする。

10

【0178】

次に図12のS103と同様のデジタルフィルター処理を行い(S303)、駆動周期を変更するかの判定を行う(S304)。S304でNoの場合は、S301に戻って処理を続ける。

【0179】

S304でYesの場合には、変更後のデジタルフィルター係数を取得し、安定性の判定を行う(S305～S307)。この処理については図12のS105～S107と同様である。

【0180】

20

S307でYesの場合には、まずそのタイミングでの出力値を、低周波フィルターの2タイミング前の出力値として記憶する。これは図16で言えば、A3タイミングに対応する。実際の切り替えはA1タイミングになるため、A3タイミングでの出力値は、切り替え時から見て2タイミング過去になる。

【0181】

S309～S311については、S301～S303と同様に高周波フィルターでのデジタルフィルター処理である。そして、現タイミングが低周波フィルターにおける1周期目の出力タイミングであるかの判定を行う(S312)。これは図16で言えば、A2のタイミングであるか否かの判定である。A3とA2の間のタイミングでの高周波フィルターの出力値は、低周波フィルターの動作には寄与しない。よって、A2のタイミングであったときのみ(S312でYesの場合)、その際の出力値を低周波フィルターの1タイミング前の出力値として記憶する(S313)。S313の処理後はS309に戻る。

30

【0182】

S312でNoの場合には、現タイミングが低周波フィルターにおける2周期目の出力タイミングであるかの判定を行う(S314)。これは図16で言えば、A1のタイミングであるか否かの判定である。S314でNoの場合にはS309に戻り、Yesの場合には駆動周波数を低周波に切り替える(S315)。

【0183】

つまり、S308～S315においては、A3のタイミングでの出力値を記憶し(S308)、A3からA2の間では何もしない(S312及びS314とともにNo)。そしてA2のタイミングで出力値を記憶し(S313)、A2からA1の間では何もしない(S312及びS314とともにNo)。そのようにしてA2、A3での出力値を保持した上で、A1のタイミングを待って駆動周波数の切り替えを行う(S315)。

40

【0184】

4.2.2 低周波から高周波への切り替え

次に低周波(長周期)から高周波(短周期)への切り替えについて説明する。図18に示したようにB1のタイミングで駆動周波数を切り替えることを考える。その際、切り替え後の高周波フィルターでの出力値を求めるには、B4及びB5で示した過去2タイミングでの、高周波フィルターの出力値が必要となる。それに対して、B1のタイミングで保持されている過去タイミングの出力は、B2及びB3で示したタイミングのものである。

50

【 0 1 8 5 】

よって、高周波フィルターの動作に必要な過去 2 タイミングの出力値が無い場合、そのままでは駆動周波数の切り替えができない。本実施形態では、B 1 のタイミング及び B 2 のタイミングにおける低周波フィルターの出力値に基づいて、B 4・B 5 のタイミングにおける高周波フィルターの出力値を推定する補間処理（内挿処理）を行う。例えば、下式（3）を用いて処理を行えばよい。

【 0 1 8 6 】

【 数 3 】

$$Y_{n-2} = Y_n - 2 \frac{P_S}{P_L} (Y_n - Y_{n-1})$$

$$Y_{n-1} = Y_n - \frac{P_S}{P_L} (Y_n - Y_{n-1}) \quad \dots \quad (3)$$

10

【 0 1 8 7 】

上式（3）において、左辺の Y は高周波フィルターに関する値であり、右辺の Y は低周波フィルターに関する値である。また、 P_S は高周波フィルターの駆動周期、 P_L は低周波フィルターの駆動周期を表す。つまり、一般的な線形補間を用いるものとする。ただし補間処理の手法はこれに限定されるものではなく、例えば B 3 のタイミングにおける出力値も用いて、2 次関数による近似等を行ってもよい。

20

【 0 1 8 8 】

次に本実施形態の詳細な処理例について図 19 のフローチャートを用いて説明する。図 19 は、デジタルフィルター部 22 における処理についてのフローチャートである。

【 0 1 8 9 】

S 401 ~ S 407 については図 17 の S 301 ~ S 307 の処理と同様であるため詳細な説明は省略する。S 407 で Yes の場合、つまり駆動周波数の切り替えが指示され、かつ、切り替え後のデジタルフィルターが安定であると判定された場合には、上式（3）を用いて、高周波フィルターでの過去 2 タイミングの出力値を求め（S 408）、S 401 に戻り高周波フィルターによるデジタルフィルター処理を行う。

【 0 1 9 0 】

以上の本実施形態では、デジタルフィルター係数出力部 222 は、図 15 に示したように、第 1 のデジタルフィルター係数と、第 1 のデジタルフィルター係数とは異なる第 2 のデジタルフィルター係数のうち、いずれか 1 つを選択する係数選択部 228 を含む。そして、デジタルフィルター係数出力部 222 は、係数選択部 228 で選択されたデジタルフィルター係数をデジタルフィルター演算部 221 に出力する。

30

【 0 1 9 1 】

なお、係数選択部 228 にデジタルフィルター係数を出力するデジタルフィルター係数記憶部は、図 15 に示したように 2 つのデジタルフィルター係数記憶部（224 - 1, 224 - 2）から構成されてもよい。

【 0 1 9 2 】

これにより、複数のデジタルフィルター係数を記憶しておき、その中から 1 つを選択して用いることで、デジタルフィルター演算部 221 が 1 つの場合にも、複数のデジタルフィルターをスムーズに切り替えることが可能になる。なお、切り替えをスムーズにするためには、フィルター状態記憶部 227 は複数のデジタルフィルターに対応するフィルター状態を記憶しておくことが望ましい（例えば図 15 に示したように、複数のフィルター状態記憶部 227 - 1, 227 - 2 から構成する等により実現できる）。

40

【 0 1 9 3 】

また、第 1 の駆動周波数と第 2 の駆動周波数（第 1 の駆動周波数よりも高周波であるものとする）のいずれかの駆動周波数でデジタルフィルター処理を行ってもよい。その場合、係数選択部 228 は、第 1 の駆動周波数に対応する第 1 のデジタルフィルター係数と、

50

第2の駆動周波数に対応する第2のデジタルフィルター係数のうち、いずれか1つを選択する。そして、デジタルフィルター演算部221は、選択されたデジタルフィルター係数を用いて、当該係数に対応する駆動周波数でデジタルフィルター処理を行う。

【0194】

これにより、デジタルフィルター処理の駆動周波数を切り替えることが可能になる。駆動周波数を切り替える利点については上述したとおりである。

【0195】

また、力制御部20は、図10に示したように、センサー情報に対して所与の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行い、帯域制限処理を行ったセンサー情報をデジタルフィルター演算部に出力する帯域制限部24を含んでもよい。そして、帯域制限部24は、第1の駆動周波数が用いられる場合には、第1の周波数帯域を通過させる帯域制限処理を行ったセンサー情報を出力し、第2の駆動周波数が用いられる場合には、第2の周波数帯域（第1の周波数帯域よりも広い周波数帯域）を通過させる帯域制限処理を行ったセンサー情報を出力する。

【0196】

なお、帯域制限部24は、図15に示したように帯域制限部24-1、帯域制限部24-2及び入力選択部25から構成されてもよい。複数の駆動周波数に対応して複数の帯域制限処理が施されるが、デジタルフィルター演算部221は1つであるから、複数の帯域制限処理後のセンサー情報の中から適切なものを選択する必要があるためである。或いは、複数の帯域制限処理のなかから、1つの処理のみを実行し、他の処理を実行しない構成にしてもよい。

【0197】

これにより、駆動周波数にあわせて、センサー情報に対して帯域制限処理を施すことが可能になる。帯域制限処理の利点については第2の実施形態で上述した通りである。

【0198】

また、デジタルフィルター処理の駆動周波数を、高周波の第2の駆動周波数から、低周波の第1の駆動周波数に切り替える場合に、デジタルフィルター演算部221は、第1の期間、切り替え期間、第2の期間でデジタルフィルター処理を切り替えてもよい。ここで、第1の期間の次の期間が切り替え期間であり、切り替え期間の次の期間が第2の期間である。第1の期間では、第2のデジタルフィルター係数を用いた第2の駆動周波数によるデジタルフィルター処理を行う。切り替え期間では、第1のデジタルフィルター係数を用いた第1の駆動周波数によるデジタルフィルター処理と第2のデジタルフィルター係数を用いた第2の駆動周波数によるデジタルフィルター処理の両方を行う。第2の期間では、第1のデジタルフィルター係数を用いた第1の駆動周波数によるデジタルフィルター処理を行う。

【0199】

これにより、図16及び図17を用いて詳述したような、高周波から低周波へのスムーズな切り替え処理が可能になる。なお、図16において、第1の期間とはA3のタイミングの前の期間、切り替え期間とはA3からA1の間の期間、第2の期間とはA1以降の期間に対応する。

【0200】

また、デジタルフィルター処理の駆動周波数を、低周波の第1の駆動周波数から、高周波の第2の駆動周波数に切り替える場合に、デジタルフィルター演算部221は、切り替えタイミングにおける第1のデジタルフィルター処理の出力値である第1の出力値と、過去タイミングにおける第1のデジタルフィルター処理の出力値である第2の出力値に基づいて、切り替えタイミングと過去タイミングの間のタイミングにおける補間値を求める補間処理を行ってもよい。そして、補間処理によって求めた補間値に基づいて、切り替えタイミング以後の第2のデジタルフィルター処理を行う。

【0201】

ここで、第 i ($i = 1$ or 2) のデジタルフィルター処理とは、第 i のデジタルフィル

10

20

30

40

50

ター係数を用いた第 i の駆動周波数によるデジタルフィルター処理のことである。また、切り替えタイミングとは、駆動周波数を切り替えるタイミングのことであり、図 18 における B 1 に相当する。過去タイミングとは切り替えタイミングより過去のタイミングであり、B 2 や B 3 に対応する（狭義には第 1 のデジタルフィルター処理のサンプリングタイミングである）。補間値とは、第 1 の出力値及び第 2 の出力値から求められる値であり、狭義には、第 2 のデジタルフィルター処理のサンプリングタイミングであり、かつ、切り替えタイミングの 1 タイミング前及び 2 タイミング前のタイミング（B 4 及び B 5 に相当）におけるデジタルフィルター処理の出力値に対応する値のことである。

【0202】

これにより、図 18 及び図 19 を用いて詳述したような、高周波から低周波へのスムーズな切り替え処理が可能になる。

10

【0203】

5. 第 4 の実施形態

第 2 の実施形態及び第 3 の実施形態では、駆動周波数の切り替えは、例えば外部 I / F 等を介したユーザーからの入力情報に基づいて行われる。それに対して本実施形態では、力覚センサーからのセンサー情報に基づいて出力フィルターの選択処理（狭義には駆動周波数の切り替え処理）を行う。

【0204】

具体的には、センサー情報に対して低域通過フィルター処理を施した低域センサー情報と、高域通過フィルター処理を施した高域センサー情報を求める。そして、低域センサー情報と高域センサー情報から、信号全体に対する高周波成分の比率を算出する。高周波成分の比率が高い場合には、駆動周波数の高いデジタルフィルターを出力フィルターとして選択し、高周波成分の比率が低い場合には、駆動周波数の低いデジタルフィルターを選択する。

20

【0205】

5.1 構成

図 20 に第 4 の実施形態にかかるロボット制御システムを含むロボットシステムの構成例を示す。第 3 の実施形態（図 15）と同様の箇所については詳細な説明は省略する。第 3 の実施形態と比較した場合、選択処理部 50、低域通過フィルター 51 及び高域通過フィルター 52 が追加されている点が異なる。なお、説明を簡略化するための帯域制限部 24-1、帯域制限部 24-2 及び入力選択部 25 が省略されているが、本実施形態においてこれらを用いる構成にしてもよい。その場合、選択処理部 50 の処理結果は、入力選択部 25 にも出力されることになる。

30

【0206】

低域通過フィルター 51 は力覚センサーからのセンサー情報に対して低域通過フィルター処理を施し低域センサー情報を出力する。同様に高域通過フィルター 52 は力覚センサーからのセンサー情報に対して高域通過フィルター処理を施し高域センサー情報を出力する。

【0207】

選択処理部 50 は、低域センサー情報及び高域センサー情報に基づいて、信号全体に対する高周波成分の比率を求める。さらに求めた比率に基づいて、複数のデジタルフィルターの中から、出力フィルターとして用いるデジタルフィルターの選択処理を行い、選択処理の結果を係数選択部 228 と状態選択・処理部 229 に対して出力する。

40

【0208】

係数選択部 228 は選択された出力フィルターに対応するデジタルフィルター係数を選択し、状態選択・処理部 229 は選択された出力フィルターに対応するフィルター状態に関する処理を行う。

【0209】

5.2 詳細な処理

本実施形態における処理の詳細は、図 17 或いは図 19 と同様である。S304 或いは

50

S 4 0 4における駆動周波数の切り替え判定が、選択処理部 5 0 で選択された出力フィルタが変化したか否かに基づいて行われることになる。

【 0 2 1 0 】

なお、以上では第 3 の実施形態と同様にデジタルフィルター演算部が 1 つの構成を用いて説明したが、これに限定されるものではない。例えば、第 2 の実施形態 (図 1 3) のようにデジタルフィルター演算部が 2 つの構成をとってもよい。その場合、図 1 3 に選択処理部 5 0、低域通過フィルター 5 1 及び高域通過フィルター 5 2 が追加されることになり、選択処理部 5 0 の処理結果はデジタルフィルター出力選択部 2 2 0 に対して出力される。そして、デジタルフィルター出力選択部 2 2 0 では、選択処理部 5 0 で選択されたデジタルフィルターに対応したデジタルフィルター演算部からの出力を選択し、デジタルフィルター部 2 2 の出力とする。

10

【 0 2 1 1 】

以上の本実施形態では、デジタルフィルター部 2 2 は、図 2 0 に示したように、センサー情報の信号周波数帯域情報に基づいて、デジタルフィルターの駆動周波数を選択する選択処理部 5 0 を含む。そして、デジタルフィルター部 2 2 は、選択処理部 5 0 において選択された駆動周波数でデジタルフィルター処理を行い、補正値を出力する。

【 0 2 1 2 】

ここで、駆動周波数の選択は、狭義には第 1 の駆動周波数と第 2 の駆動周波数のうちのいずれかの選択を行うものとするが、候補の駆動周波数が 3 つ以上であってもよい。

【 0 2 1 3 】

これにより、ユーザーが入力等を行うことなく、駆動周波数を選択することができるため、ユーザーにとって使いやすいシステムを提供することが可能になる。

20

【 0 2 1 4 】

また、選択処理部 5 0 は、センサー情報に対して低域通過フィルター 5 1 を施した低域センサー情報と、センサー情報に対して高域通過フィルター 5 2 を施した高域センサー情報を、上述の信号周波数帯域情報として用いてもよい。つまり、低域センサー情報と高域センサー情報に基づいて駆動周波数を選択する。

【 0 2 1 5 】

これにより、フィルター処理という容易な処理により、駆動周波数の選択を行うことが可能になる。処理の具体例としては、低域センサー情報と高域センサー情報から、信号全体に対する高周波成分の比率を求めることが考えられる。高周波成分が多い場合には、駆動周波数も高くして信号の高周波成分に対応する。高周波成分が少なければ、駆動周波数も低くてよい。

30

【 0 2 1 6 】

以上、本発明を適用した 4 つの実施の形態 1 ~ 4 およびその変形例について説明したが、本発明は、各実施の形態 1 ~ 4 やその変形例そのままに限定されるものではなく、実施段階では、発明の要旨を逸脱しない範囲内で構成要素を変形して具体化することができる。また、上記した各実施の形態 1 ~ 4 や変形例に開示されている複数の構成要素を適宜組み合わせることによって、種々の発明を形成することができる。例えば、各実施の形態 1 ~ 4 や変形例に記載した全構成要素からいくつかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施の形態や変形例で説明した構成要素を適宜組み合わせてもよい。また、明細書又は図面において、少なくとも一度、より広義または同義な異なる用語と共に記載された用語は、明細書又は図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えることができる。このように、発明の主旨を逸脱しない範囲内において種々の変形や応用が可能である。

40

【符号の説明】

【 0 2 1 7 】

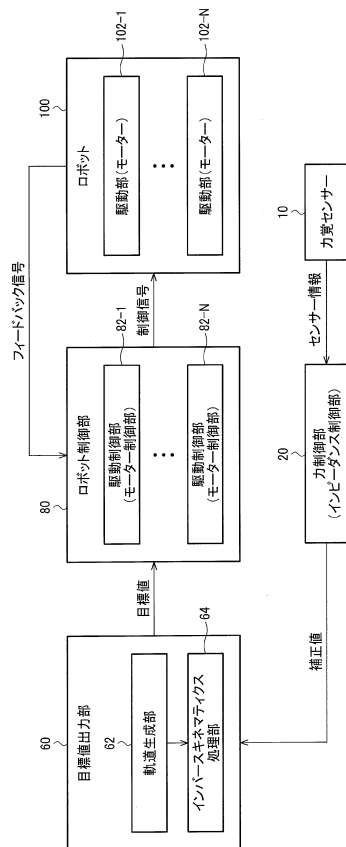
A L、A M、A R アーム、H L 穴部、O B 物体、S F 表面、2 0 力制御部、
2 2 デジタルフィルター部、2 4、2 4 - 1、2 4 - 2 帯域制限部、
2 5 入力選択部、3 0 入力補正部、4 0 フォワードキネマティクス処理部、

50

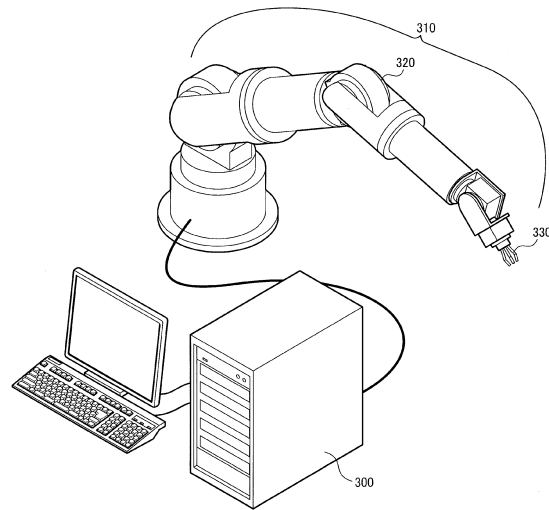
- 5 0 選択処理部、5 1 低域通過フィルター、5 2 高域通過フィルター、
- 6 0 目標値出力部、6 2 軌道生成部、6 4 インバースキネマティクス処理部、
- 8 0 ロボット制御部、8 2 1 ~ 8 2 N 駆動制御部(モーター制御部)、
- 1 0 0 ロボット、1 0 2 1 ~ 1 0 2 N 駆動部、
- 2 2 0 デジタルフィルター出力選択部、
- 2 2 1、2 2 1 - 1、2 2 1 - 2 デジタルフィルター演算部、
- 2 2 2 デジタルフィルター係数出力部、2 2 3 デジタルフィルター安定度判定部、
- 2 2 4、2 2 4 - 1、2 2 4 - 2 デジタルフィルター係数記憶部、
- 2 2 5 デジタルフィルター係数変換部、2 2 6 応答特性入力部、
- 2 2 7、2 2 7 - 1、2 2 7 - 2 フィルター状態記憶部、2 2 8 係数選択部、
- 2 2 9 状態選択・処理部、3 0 0 制御装置、3 1 0 ロボット、3 2 0 アーム、
- 5 1 0 力覚センサー、5 3 2 姿勢補正部、5 3 4 ハンド・ツール自重補正部、
- 5 3 6 運動方程式処理部

10

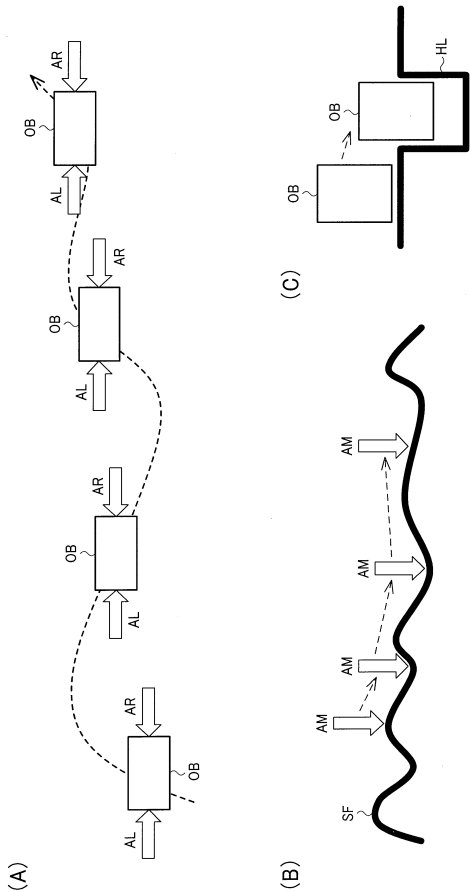
【図 1】



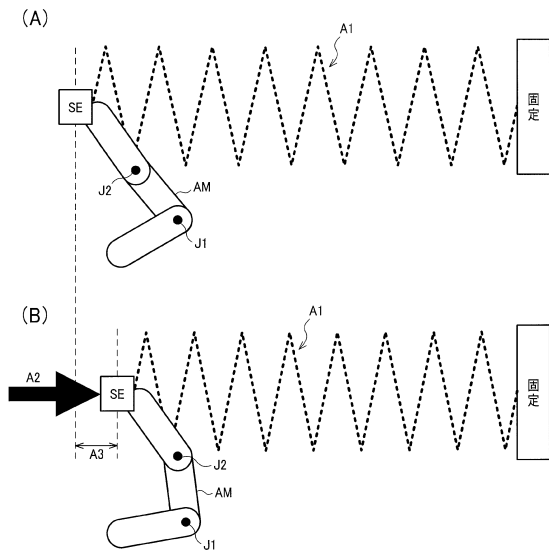
【図 2】



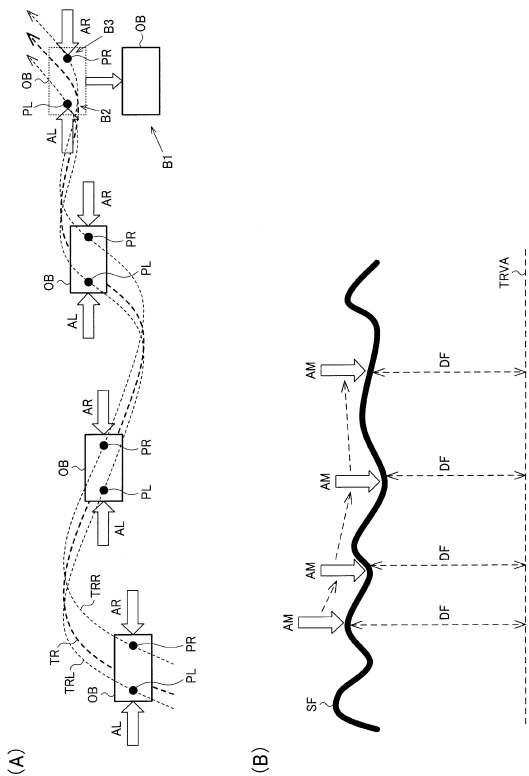
【図3】



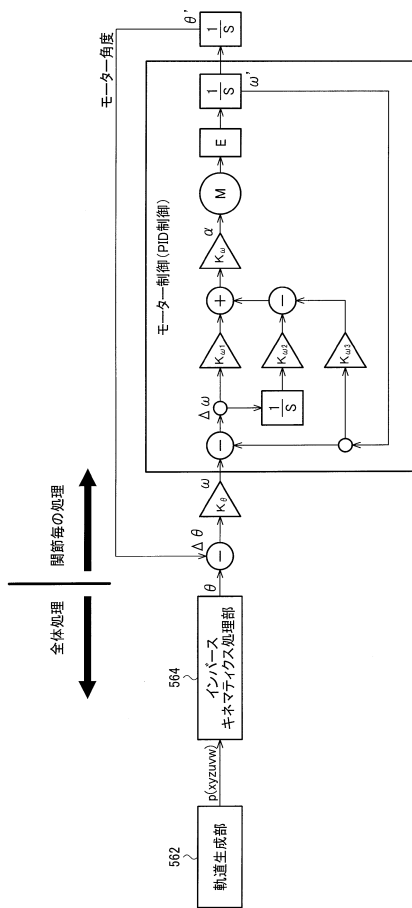
【図4】



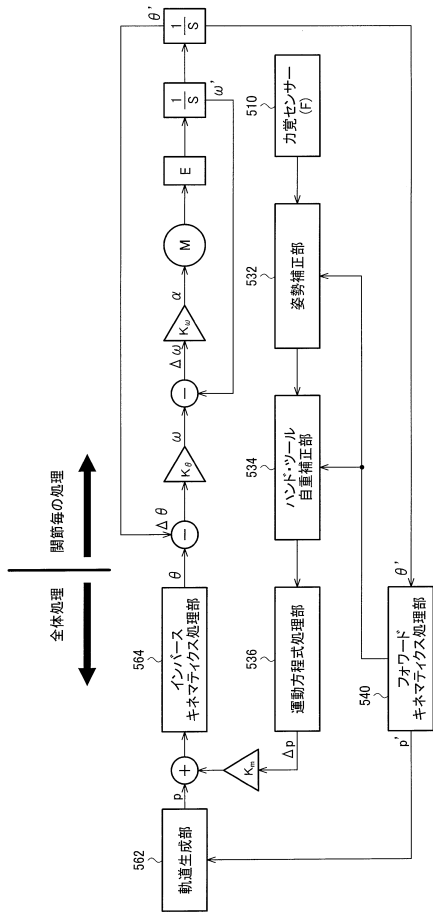
【図5】



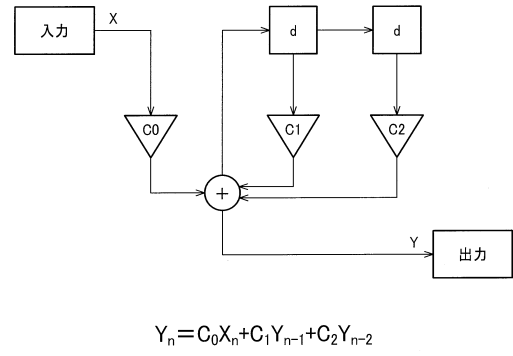
【図6】



【図7】

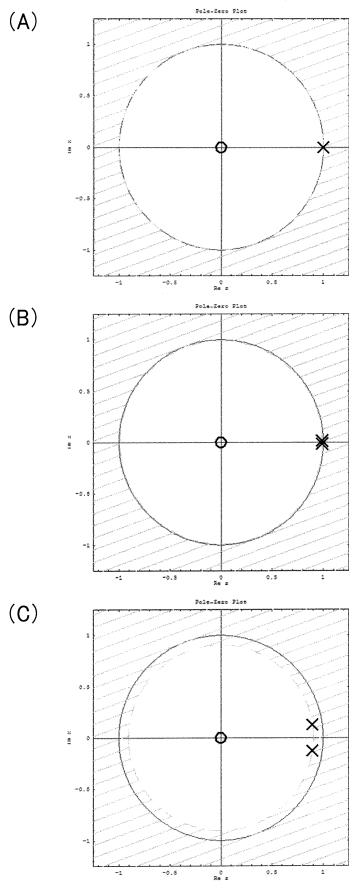


【図8】

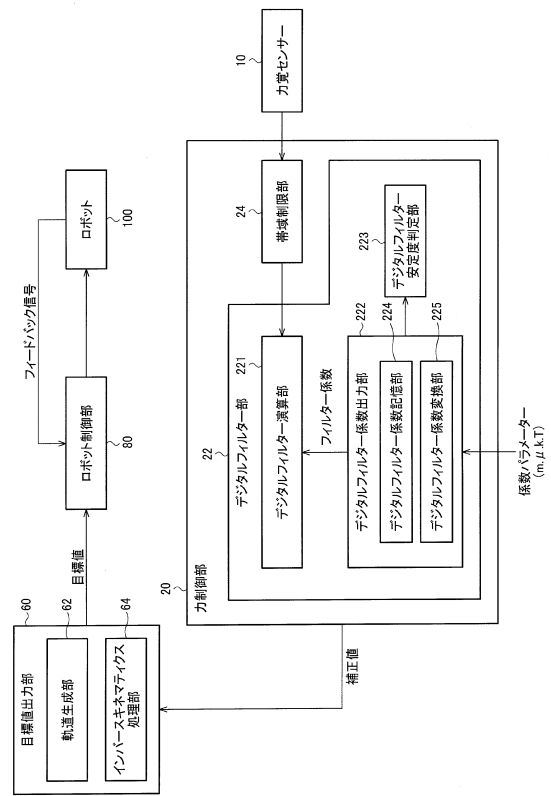


$$Y_n = C_0 X_n + C_1 Y_{n-1} + C_2 Y_{n-2}$$

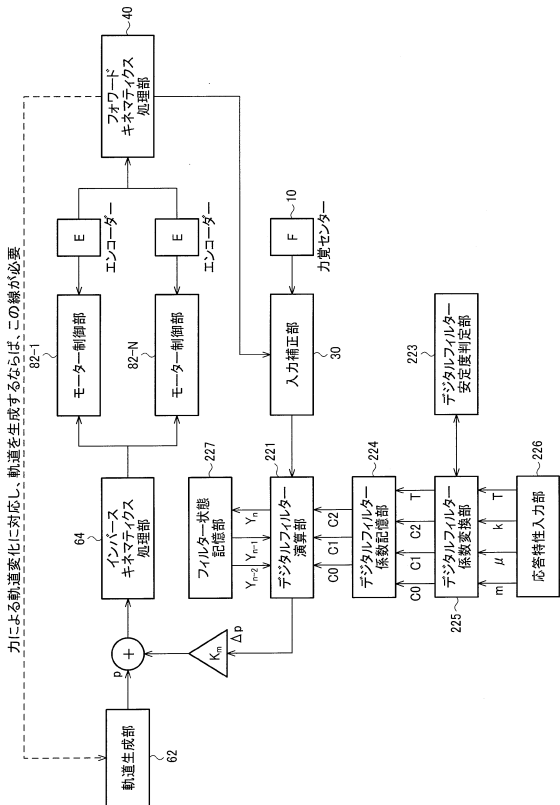
【図9】



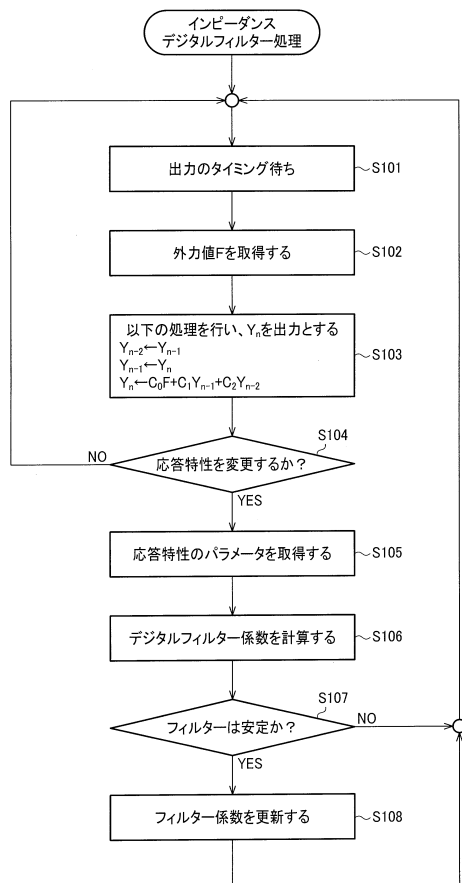
【図10】



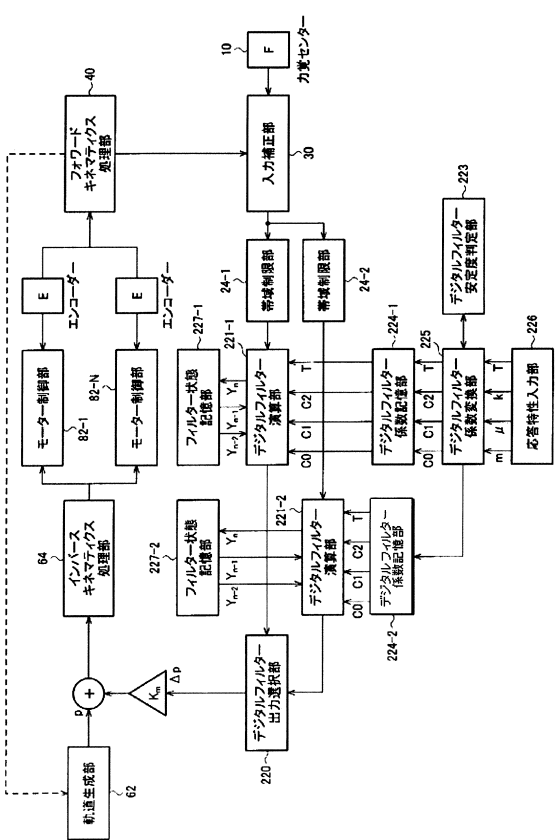
【図11】



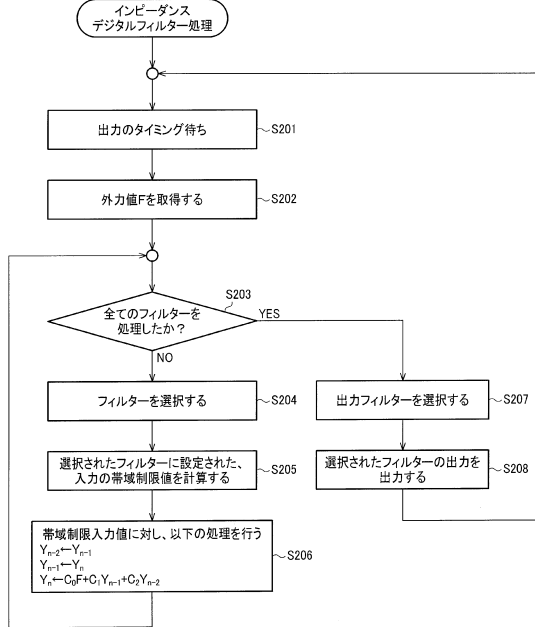
【図12】



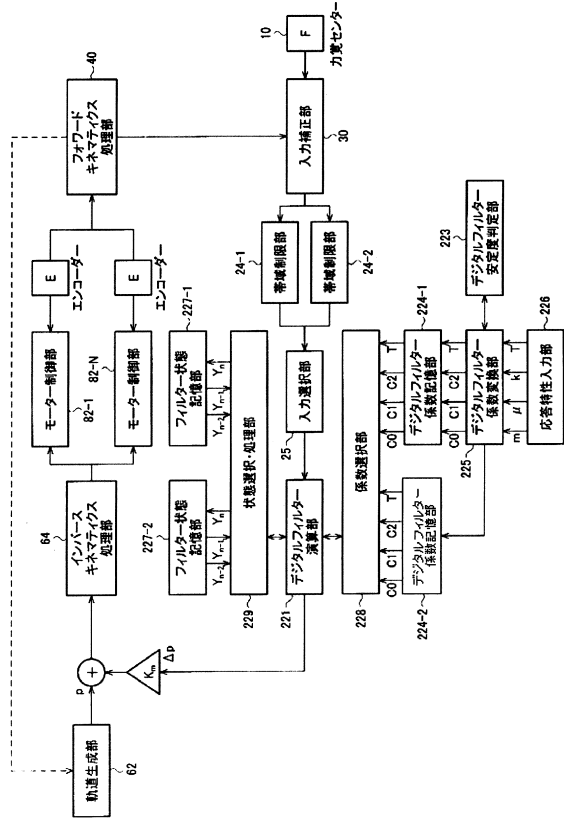
【図13】



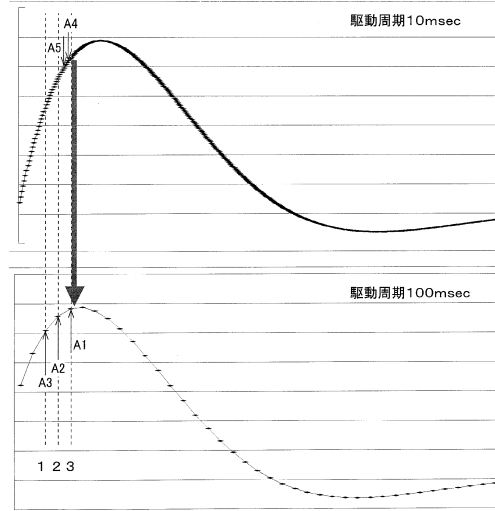
【図14】



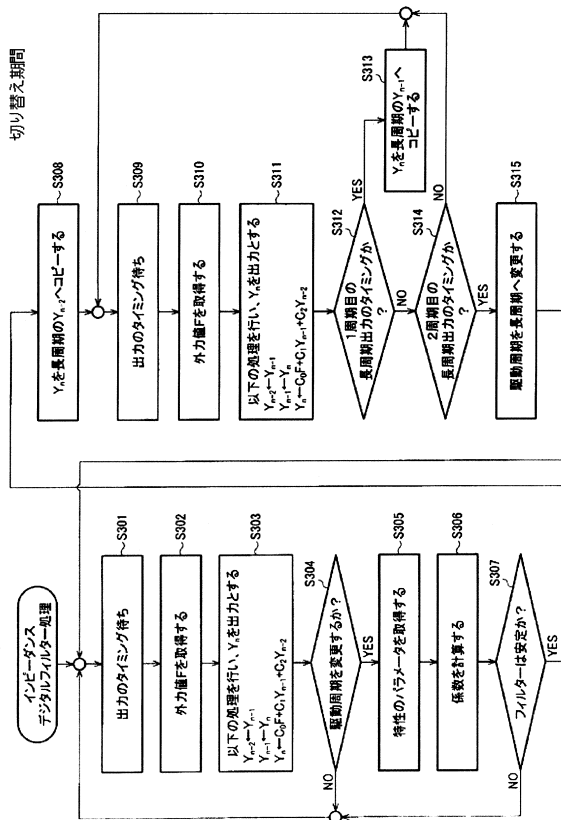
【図15】



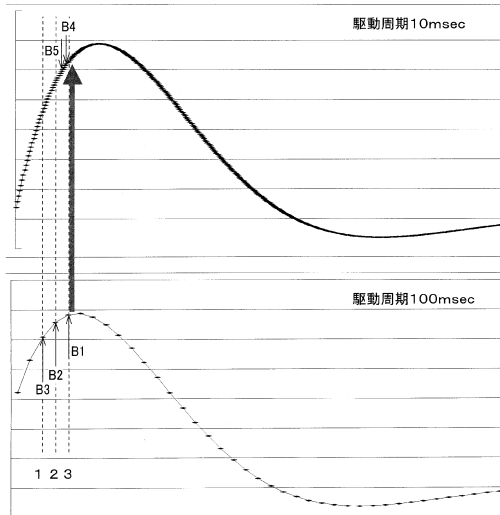
【図16】



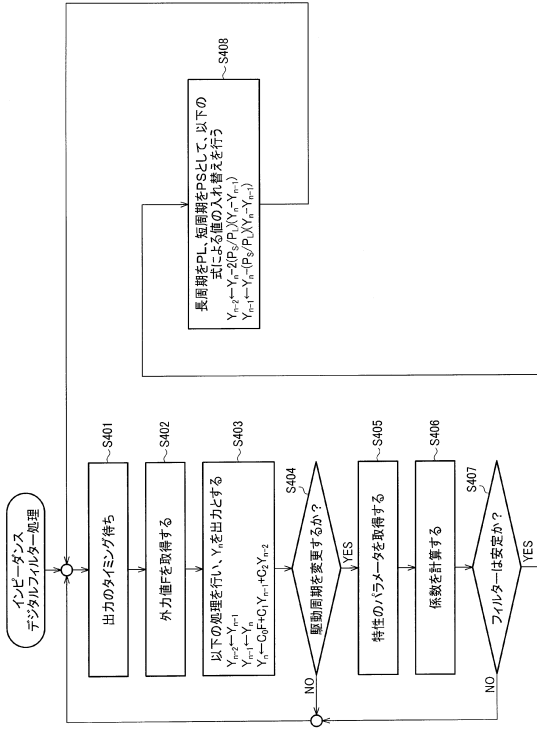
【図17】



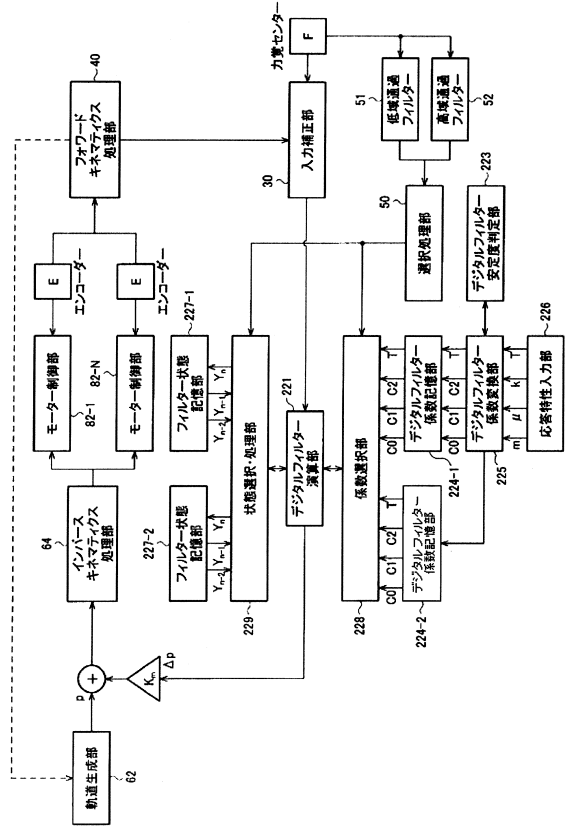
【図18】



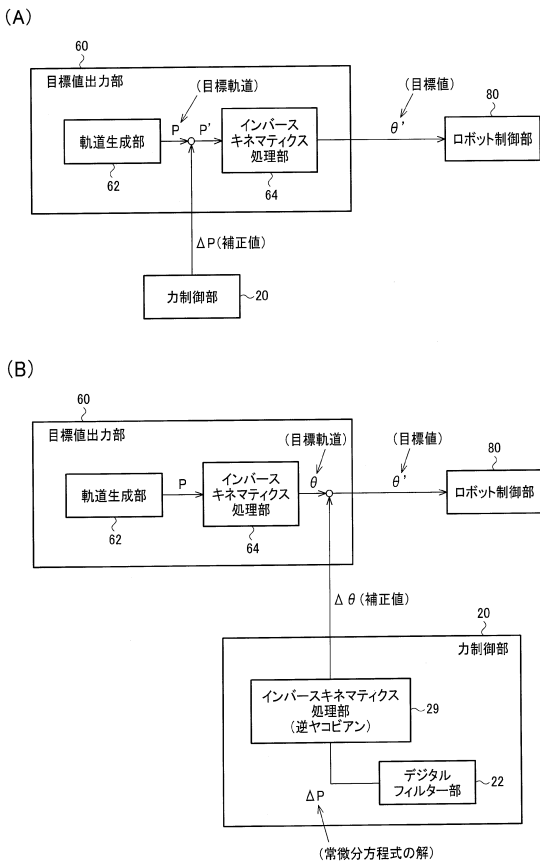
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

合議体

審判長 栗田 雅弘

審判官 刈間 宏信

審判官 柏原 郁昭

- (56)参考文献 特開平4 - 141391 (JP, A)
特開平3 - 223907 (JP, A)
国際公開第00/24053 (WO, A1)
特開2005 - 14192 (JP, A)
特開平10 - 582 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 13/08 G05B 11/36