

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4319232号
(P4319232)

(45) 発行日 平成21年8月26日(2009. 8. 26)

(24) 登録日 平成21年6月5日(2009. 6. 5)

(51) Int.Cl.

B 2 5 J 3/00 (2006.01)

F I

B 2 5 J 3/00

A

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2007-237034 (P2007-237034)	(73) 特許権者	000003207
(22) 出願日	平成19年9月12日(2007. 9. 12)		トヨタ自動車株式会社
(65) 公開番号	特開2009-66696 (P2009-66696A)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(43) 公開日	平成21年4月2日(2009. 4. 2)	(73) 特許権者	304021277
審査請求日	平成20年9月16日(2008. 9. 16)		国立大学法人 名古屋工業大学
			愛知県名古屋市昭和区御器所町字木市29番
		(74) 代理人	100080621
			弁理士 矢野 寿一郎
		(72) 発明者	武居 直行
			愛知県名古屋市昭和区御器所町 国立大学
			法人名古屋工業大学内
		(72) 発明者	藤本 英雄
			愛知県名古屋市昭和区御器所町 国立大学
			法人名古屋工業大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パワーアシスト装置およびその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

操作者により操作される操作部位と、
 前記操作部位に加えられた操作力を検出する操作力検出手段と、
 前記操作部位を支持するロボットアームと、
 前記ロボットアームを駆動する駆動手段と、
 前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を計測する外力計測手段、
 もしくは、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を推定する外力推定手段
 と、

前記操作部位の移動速度を検出する速度検出手段、
 もしくは、前記操作部位の移動速度を推定する速度推定手段を備え、
 前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力と、
 前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、
 に基づき修正外力を求めて、

前記操作力と前記修正外力が前記操作部位に作用して、前記ロボットアームに作用する
 前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記修正外力が常に均衡した状態を維持する
 ように前記駆動手段を制御するパワーアシスト装置の制御方法であって、

前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算
 される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度と、

前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力によって計算される前記

10

20

操作部位の速度とを比較し、

前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度と前記外力によって計算される前記操作部位の速度の向きが互いに反対で、かつ、

前記外力によって計算される前記操作部位の速度が前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度に比して大きい場合には、

前記外力によって計算される前記操作部位の速度が、

前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度であるものとして、

前記修正外力を求め、

前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度と前記外力によって計算される前記操作部位の速度の向きが互いに同じである場合、もしくは、

前記外力によって計算される前記操作部位の速度が前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度に比して小さい場合には、

前記外力をそのまま前記修正外力として採用する、

ことを特徴とするパワーアシスト装置の制御方法。

【請求項 2】

操作者により操作される操作部位と、

前記操作部位に加えられた操作力を検出する操作力検出手段と、

前記操作部位を支持するロボットアームと、

前記ロボットアームを駆動する駆動手段と、

前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を計測する外力計測手段、

もしくは、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を推定する外力推定手段と、

前記操作部位の移動速度を検出する速度検出手段、

もしくは、前記操作部位の移動速度を推定する速度推定手段を備え、

前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力と、

前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、

に基づき修正外力を求めて、

前記操作力と前記修正外力が前記操作部位に作用して、前記ロボットアームに作用する前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記修正外力が常に均衡した状態を維持するように前記駆動手段を制御するパワーアシスト装置の制御方法であって、

前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、

前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力とを比較し、

前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに反対で、かつ、

前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して大きい場合には、

前記外力が、

前記操作力の前記外力の方向に対する分力であるものとして、

前記修正外力を求め、

前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに同じである場合、もしくは、

前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して小さい場合には、

前記外力をそのまま前記修正外力として採用する、

ことを特徴とするパワーアシスト装置の制御方法。

【請求項 3】

操作者により操作される操作部位と、

前記操作部位に加えられた操作力を検出する操作力検出手段と、

前記操作部位を支持するロボットアームと、
前記ロボットアームを駆動する駆動手段と、
前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を計測する外力計測手段、
もしくは、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を推定する外力推定手段
と、

前記操作部位の移動速度を検出する速度検出手段、
もしくは、前記操作部位の移動速度を推定する速度推定手段を備え、
前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力と、
前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、
に基づき修正外力を求めて、
前記操作力と前記修正外力が前記操作部位に作用して、前記ロボットアームに作用する
前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記修正外力が常に均衡した状態を維持する
ように前記駆動手段を制御する制御装置を備えるパワーアシスト装置であって、

前記制御装置は、
前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、
前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力とを比較し、
前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに反対で、かつ、
前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して大きい場合には、
前記外力によって計算される前記操作部位の速度が、
前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力
の方向に対する速度であるものとして、

前記修正外力を求め、
前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに同じである場合、
もしくは、
前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して小さい場合には、
前記外力をそのまま前記修正外力として採用する、
ことを特徴とするパワーアシスト装置。

【請求項4】

操作者により操作される操作部位と、
前記操作部位に加えられた操作力を検出する操作力検出手段と、
前記操作部位を支持するロボットアームと、
前記ロボットアームを駆動する駆動手段と、
前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を計測する外力計測手段、
もしくは、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を推定する外力推定手段
と、

前記操作部位の移動速度を検出する速度検出手段、
もしくは、前記操作部位の移動速度を推定する速度推定手段を備え、
前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力と、
前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、
に基づき修正外力を求めて、
前記操作力と前記修正外力が前記操作部位に作用して、前記ロボットアームに作用する
前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記修正外力が常に均衡した状態を維持する
ように前記駆動手段を制御する制御装置を備えるパワーアシスト装置であって、

前記制御装置は、
前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、
前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力とを比較し、
前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに反対で、かつ、
前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して大きい場合には、
前記外力が、
前記操作力の前記外力の方向に対する分力であるものとして、

10

20

30

40

50

前記修正外力を求め、
前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに同じである場合、
もしくは、

前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して小さい場合には、
前記外力をそのまま前記修正外力として採用する、
ことを特徴とするパワーアシスト装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パワーアシスト装置の技術に関し、より詳しくは、パワーアシスト装置およびその制御方法に関する。 10

【背景技術】

【0002】

従来、製造現場等では、作業者の労力軽減や作業性向上のためにパワーアシスト装置と呼ばれるロボットが用いられている。そして、パワーアシスト装置の制御方法としては、位置制御ベースの機械インピーダンス制御（所謂、アドミッタンス制御）が広く採用されている。

【0003】

アドミッタンス制御では、通常は高ゲインの位置制御を行っており、その目標位置は力センサの情報に基づいて決めるため、力センサを介さずに加えられた力は制御動作において考慮されず、マニピュレータは殆ど動作しない。 20

つまり、力センサによる検知部位以外の部位において、ロボットアームと環境（外界）との接触があったとしても、ロボットアームは接触を考慮することなく作動し続けてしまい、非常に危険である。今後は、人とロボットが空間を共有していく状況がますます増えるため、人や環境と接触するロボットの安全性を考慮したアドミッタンス制御が必要となる。

力覚センサを介さずに作用した外力の推定値を併用することにより、環境との接触に対する安全性を高めたアドミッタンス制御の手法が以下に示す非特許文献1等に開示されている。

【非特許文献1】磯将人、関弘和、堀洋一著、負荷特性に応じたインピーダンス制御を用いたセンサレスパワーアシスト法、電気学会産業計測制御研究会 IIC-02-40 (2002) 30

【0004】

従来技術に示されている制御方法においては、未知の外力に対してコンプライアントな動作が実現できる。しかしながら、この方法では操作者がロボットを環境に接触させてさらに押し付けるような場合に発振現象が生じてしまうことが知られている。本来、操作力と外力が完全に均衡した状態であれば発振現象は生じないはずであるが、両者の間にわずかでも差があれば発振現象が生じ得るものである。この発振現象は、パワーアシスト装置による押し付け作業のようにロボットと環境との接触が前提となる場合には問題となってしまう。 40

【0005】

この問題を解決するために、これまでは、操作者によってパワーアシスト装置の押し付け具合を調整するような対処方法しか見出せていなかった。また、粘性抵抗を増す設定をすることによっても発振現象を抑えることができるが、この場合パワーアシスト装置の操作に必要な操作力が大きくなり、このため操作性が悪化してしまい実用上好ましくない状況であった。

つまり、従来技術では、発振現象を抑える有効な方法が存在していない状況であった。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

そこで本発明では、このような現状を鑑み、ロボットが環境に接触しても発振現象を生じることがなく、安定した接触状態を維持できるパワーアシスト装置およびその制御方法を提供することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の解決しようとする課題は以上の如くであり、次にこの課題を解決するための手段を説明する。

【0008】

即ち、請求項1においては、操作者により操作される操作部位と、前記操作部位に加えられた操作力を検出する操作力検出手段と、前記操作部位を支持するロボットアームと、前記ロボットアームを駆動する駆動手段と、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を計測する外力計測手段、もしくは、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を推定する外力推定手段と、前記操作部位の移動速度を検出する速度検出手段、もしくは、前記操作部位の移動速度を推定する速度推定手段を備え、前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力と、前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、に基づき修正外力を求めて、前記操作力と前記修正外力が前記操作部位に作用して、前記ロボットアームに作用する前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記修正外力が常に均衡した状態を維持するように前記駆動手段を制御するパワーアシスト装置の制御方法であって、前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度と、前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力によって計算される前記操作部位の速度とを比較し、前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度と前記外力によって計算される前記操作部位の速度の向きが互いに反対で、かつ、前記外力によって計算される前記操作部位の速度が前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度に比して大きい場合には、前記外力によって計算される前記操作部位の速度が、前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度であるものとして、前記修正外力を求め、前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度と前記外力によって計算される前記操作部位の速度の向きが互いに同じである場合、もしくは、前記外力によって計算される前記操作部位の速度が前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度に比して小さい場合には、前記外力をそのまま前記修正外力として採用する、ことを特徴としたものである。

【0009】

請求項2においては、操作者により操作される操作部位と、前記操作部位に加えられた操作力を検出する操作力検出手段と、前記操作部位を支持するロボットアームと、前記ロボットアームを駆動する駆動手段と、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を計測する外力計測手段、もしくは、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を推定する外力推定手段と、前記操作部位の移動速度を検出する速度検出手段、もしくは、前記操作部位の移動速度を推定する速度推定手段を備え、前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力と、前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、に基づき修正外力を求めて、前記操作力と前記修正外力が前記操作部位に作用して、前記ロボットアームに作用する前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記修正外力が常に均衡した状態を維持するように前記駆動手段を制御するパワーアシスト装置の制御方法であって、前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力とを比較し、前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに反対で、かつ、前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して大きい場合には、前記外力が、前記操作力の前記外力の方向に対する分力であるものとして、前記修正外力

10

20

30

40

50

を求め、前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに同じである場合、もしくは、前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して小さい場合には、前記外力をそのまま前記修正外力として採用する、ことを特徴としたものである。

【0010】

請求項3においては、操作者により操作される操作部位と、前記操作部位に加えられた操作力を検出する操作力検出手段と、前記操作部位を支持するロボットアームと、前記ロボットアームを駆動する駆動手段と、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を計測する外力計測手段、もしくは、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を推定する外力推定手段と、前記操作部位の移動速度を検出する速度検出手段、もしくは、前記操作部位の移動速度を推定する速度推定手段を備え、前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力と、前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、に基づき修正外力を求めて、前記操作力と前記修正外力が前記操作部位に作用して、前記ロボットアームに作用する前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記修正外力が常に均衡した状態を維持するように前記駆動手段を制御する制御装置を備えるパワーアシスト装置であって、前記制御装置は、前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力とを比較し、前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに反対で、かつ、前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して大きい場合には、前記外力によって計算される前記操作部位の速度が、前記操作力の前記外力の方向に対する分力によって計算される前記操作部位の前記外力の方向に対する速度であるものとして、前記修正外力を求め、前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに同じである場合、もしくは、前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して小さい場合には、前記外力をそのまま前記修正外力として採用する、ことを特徴としたものである。

【0011】

請求項4においては、操作者により操作される操作部位と、前記操作部位に加えられた操作力を検出する操作力検出手段と、前記操作部位を支持するロボットアームと、前記ロボットアームを駆動する駆動手段と、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を計測する外力計測手段、もしくは、前記ロボットアームが環境と接触した時に受ける力を推定する外力推定手段と、前記操作部位の移動速度を検出する速度検出手段、もしくは、前記操作部位の移動速度を推定する速度推定手段を備え、前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力と、前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、に基づき修正外力を求めて、前記操作力と前記修正外力が前記操作部位に作用して、前記ロボットアームに作用する前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記修正外力が常に均衡した状態を維持するように前記駆動手段を制御する制御装置を備えるパワーアシスト装置であって、前記制御装置は、前記操作力検出手段により検出した操作力の前記外力の方向に対する分力と、前記外力計測手段もしくは前記外力推定手段により求めた外力とを比較し、前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに反対で、かつ、前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して大きい場合には、前記外力が、前記操作力の前記外力の方向に対する分力であるものとして、前記修正外力を求め、前記操作力の前記外力の方向に対する分力と前記外力の向きが互いに同じである場合、もしくは、前記外力が前記操作力の前記外力の方向に対する分力に比して小さい場合には、前記外力をそのまま前記修正外力として採用する、ことを特徴としたものである。

【発明の効果】

【0012】

本発明の効果として、以下に示すような効果を奏する。

【0013】

請求項1においては、ロボットが環境に接触しても発振現象を生じることがなく、安定

10

20

30

40

50

した接触状態を維持できる。また、操作力を修正するのではなく、外力に制限が加わるように修正することにより、操作性を犠牲にすること無く発振現象を抑えることができる。

【0014】

請求項2においては、操作性を犠牲にすること無く、より確実に発振現象を抑えることができる。

【0015】

請求項3においては、ロボットが環境に接触しても発振現象を生じることがなく、安定した接触状態を維持できる。操作力を修正するのではなく、外力に制限が加わるように修正することにより、操作性を犠牲にすること無く発振現象を抑えることができる。

【0016】

請求項4においては、操作性を犠牲にすること無く、より確実に発振現象を抑えることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

次に、発明の実施の形態を説明する。

図1は本発明の一実施例に係る操作者によるロボットアームと環境との接触作業の状況を示す模式図、図2は本発明に係るアドミタンス制御の制御フロー図、図3は多次元の系に対する本発明の適用を説明する速度ベクトル図、図4は本発明の適用効果を確認する実験装置の概略平面図および側面図、図5は同じく適用効果を表す測定データである。

【0018】

図1に示すようなパワーアシスト装置1による作業を例に挙げて、本発明の実施例を説明する。

図1に示す如く、本実施例に示すパワーアシスト装置1は、ロボットアーム2、力覚センサ3、操作ハンドル4、アクチュエータ5、制御装置6等により構成している。

ロボットアーム2は、アクチュエータ5により支持されており、制御装置6からの指令に応じてアクチュエータ5が作動し、種々の姿勢をとることができるロボット装置である。

【0019】

ロボットアーム2の先端部には、力覚センサ3を介して操作ハンドル4が配設されており、該操作ハンドル4を操作者が把持してロボットアーム2を所望する位置に移動させることができる。また、その移動の際に操作者によって操作ハンドル4に加えられた操作力を力覚センサ3で検知するようにしている。

【0020】

アクチュエータ5は、ロボットアーム2を支持し駆動するのみならず、ロボットアーム2の姿勢および動作速度を検知することができる。

本実施例では、このアクチュエータ5によるロボットアーム2の姿勢情報および作動速度情報に基づいてロボットアーム2に作用する環境から受ける外力（接触力）を推定する構成としている。

尚、本実施例では、環境から受ける外力として推定値を算出して採用する構成としているが、接触検知用の力覚センサを別途備える構成とし、環境から受ける外力として実際の測定値を採用する構成とすることも可能である。

【0021】

ロボットアーム2が環境（例えば、障害物7）と接触するときには、操作者が加える操作力 f_h と障害物7からの外力 f_e が作用する。アドミタンス制御では、この操作力 f_h と外力 f_e を検出または推定し、その検出値または推定値に基づいて、所望するインピーダンスを実現するように手先位置 x_d の目標位置を制御装置6によって演算し、随時目標位置を更新しながら、その目標位置にロボットアーム2の手先位置を移動させるようにロボットアーム2を駆動するアクチュエータ5を制御装置6によって制御する構成としている。

【0022】

そして、図 1 に示すような状況では、操作力 f_h および外力 f_e を推定する（あるいは直接的に計測する）ことによって得る情報に基づいて、以下に示す数式 1 が成立する。

【0023】

【数 1】

$$\alpha f_h + f_e = M\ddot{x}_d + D\dot{x}_d$$

尚、ここで α はアシスト比を示しているが、以後の説明では簡単のために $\alpha = 1$ とする。また、 M は慣性、 D は粘性を示している。

【0024】

このように、複数の力（即ち、操作力 f_h および外力 f_e ）の情報を用いて手先位置 x_d の目標位置を計算する場合、これら複数の力の合力がゼロとなり均衡を保っていなければ、手先位置 x_d の目標位置を一定値に整定することができない。

10

また、センサによる力の検出遅れや演算時間に起因する遅れ等もあいまって、手先位置 x_d の目標位置が発振してしまう。

本発明では、操作力 f_h と外力 f_e の状況に応じて、前記数式 1 の計算に用いる外力 f_e を修正する制御方法を採用し、発振現象が生じることを防止するようにしている。以下にその具体的な制御方法を説明していく。

【0025】

まず、一次元のモデルで考えると、手先位置 x_d が速度 V_d で移動している状況において、操作力 f_h が作用する場合、以下に示す数式 2 が成立し、速度 V_a を得る。

20

【0026】

【数 2】

$$\begin{aligned} V_a &= V_d + T f_h / M \\ &= \dot{x}_d + T f_h / M \quad (V_d = \dot{x}_d) \end{aligned}$$

尚、ここで T はサンプリング時間を示している。

【0027】

この速度 V_a と外力 f_e が同じ向きするとき（即ち、 $V_a \cdot f_e > 0$ ）には、修正後の外力として外力 f_e をそのまま修正外力 f'_e として採用し、また、速度 V_a と外力 f_e が逆向きするとき（即ち、 $V_a \cdot f_e < 0$ ）には、以下の数式 3 により修正外力 f'_e を求め

30

【0028】

【数 3】

$$f'_e = \begin{cases} -V_a M / T + D V_a \cdots \text{if } |V_a| \leq |f_e - D V_a| T / M \\ f_e & \cdots \text{otherwise} \end{cases}$$

【0029】

これにより、操作力 f_h と修正外力 f'_e から、操作部位の次の目標位置が求められ、操作力 f_h と修正外力 f'_e が常に均衡した状態を維持されるため、発振することがなく、安定した接触状態を保持できるのである。

40

【0030】

図 2 に、本発明に係るアドミッタンス制御の制御フローを示している。

本発明に係る制御方法では、制御動作が開始されると、まず環境から受ける外力 f_e を計測、もしくは推定により求めて（S01）、なおかつ、操作者による操作力 f_h を計測するようにしている（S02）。

【0031】

次に、（S01）および（S02）で求めた外力 f_e と操作力 f_h に基づいて制御装置 6 によって条件判定をし（S03-1 および S03-2）、（S03-1）および（S03-2）を両方とも満足している場合は（S04）へと進み、それ以外の場合は（S05

50

）へと進むようにしている。

【0032】

（S04）では、次の目標速度がゼロとなるように外力 f_e を修正外力 f'_e に修正している。環境に対してロボットアーム2が接触する時には速度 V_d はほとんどゼロであるため、これは、外力 f_e を操作力 f_h に制限してロボットアーム2を振動しないように制御していると考えることができる。

【0033】

また、（S05）では、修正外力 f'_e として外力 f_e をそのまま採用している。

【0034】

そして、（S04）または（S05）で計算した修正外力 f'_e に基づいて目標加速度 A_d を計算し（S06）、さらに求めた目標加速度 A_d を時間積分して、目標速度 V_d および目標手先位置 x'_d を計算し（S07）、目標速度 V_d および目標手先位置 x'_d となるようにロボットアーム2を支持するアクチュエータ5の駆動を制御装置6によって制御するようにしている。尚、制御フロー中の各演算処理は制御装置6によって行う構成としている。

そして、目標加速度 A_d は、以下の数式4により求めている。

【0035】

【数4】

$$A_d = (f_h + f'_e - D \cdot V_d) / M$$

【0036】

即ち、操作者による操作力を検出する操作力検出手段たる力覚センサ3と、該力覚センサ3を備えた操作部位たる操作ハンドル4と、該操作ハンドル4を支持するロボットアーム2と、該ロボットアーム2を駆動する駆動手段たるアクチュエータ5と、ロボットアーム2が環境と接触した時に受ける力を計測もしくは推定する外力導出手段たるアクチュエータ5および制御装置6と、操作ハンドル4の移動速度を検出もしくは推定する速度導出手段たるアクチュエータ5および制御装置6を備えるパワーアシスト装置1の制御方法であって、力覚センサ3により検出した操作力 f_h と、外力導出手段たるアクチュエータ5および制御装置6により求めた外力 f_e に基づき修正外力 f'_e を求めて、該修正外力 f'_e を操作ハンドル4に作用するようにアクチュエータ5を制御している。

このような構成とすることにより、ロボットアーム2が環境（障害物2）に接触しても発振現象を生じることがなく、安定した接触状態を維持できるのである。

【0037】

また、力覚センサ3により検出した操作力 f_h と、外力導出手段たるアクチュエータ5および制御装置6により求めた外力 f_e とを比較し、操作力 f_h に比して外力 f_e が大きい場合には、外力 f_e を操作力 f_h を上限とする値に制限をして修正外力 f'_e を求め、外力 f_e に比して操作力 f_h が大きい場合には、外力 f_e をそのまま採用して修正外力 f'_e を求めるようにしている。

このように、操作力 f_h を修正するのではなく、外力 f_e に制限が加わるように修正することにより、操作性を犠牲にすること無く発振現象を抑えることができるのである。

【0038】

さらに、操作力検知手段たるアクチュエータ5および制御装置6により検知した操作力 f_h と、外力推定手段たるアクチュエータ5および制御装置6により求めた外力 f_e とが、反対向きで、外力 f_e が予め定めた閾値よりも大きい場合には、外力 f_e を操作力 f_h および外力 f_e によって計算される速度がゼロとなる値に制限して修正外力 f'_e を求め、外力 f_e が予め定めた閾値よりも小さい場合、もしくは、操作力 f_h と同じ向きである場合には、外力 f_e をそのまま修正外力 f'_e として採用するようにしている。

このように、閾値を設定して制御動作に不感帯を設けることにより、操作性を犠牲にすること無く、より確実に発振現象を抑えることができるのである。

【0039】

10

20

30

40

50

また、本発明は一次元のモデルに対する適用に限定されるものではなく、多次元のモデルであっても適用することができ、図3に示す速度ベクトル図を用いて説明することができる。ただし、ここでは簡単のために、粘性 $D = 0$ とする。

図3(a)に示す如く、操作力による速度ベクトル V_a および外力から求められる速度ベクトル Tf_e/M がある状態を例にとると、前記数式2により求まる操作力による速度ベクトル V_a を、外力から求められる速度ベクトル Tf_e/M の方向とその垂直方向の成分 (V_1, V_2) に分けて考える(図3(b)参照)。

速度ベクトル Tf_e/M が、 V_1 の逆向きであって、かつ、大きさが V_1 に比して大きい場合には修正を行い、修正した速度ベクトル Tf'_e/M を、 $-V_1$ としている(図3(c)参照)。

10

そして、最終的に操作力と修正外力から得られる移動方向は V_k となる(図3(d)参照)。

このように、環境から外力を受ける方向には力が働かないため、発振することがなく、また、接線方向になぞることも妨げないのである。

【0040】

次に、本発明の適用効果を確認した実験結果を示す。

図4に示す如く、パワーアシスト装置1は、ロボットアーム2の手先位置に力覚センサ3を配設しており、該力覚センサ3を介して操作ハンドル4をロボットアーム2の手先位置に配設する構成としている。

そして、操作ハンドル4にバネばかり8を取り付けて、操作者がバネばかり8を介して操作ハンドル4を引っ張ってロボットアーム2を移動させるように実験装置を構成している。

20

【0041】

そして、あるところでロボットアーム2が環境(障害物7)と接触するように構成し、ロボットアーム2が障害物7と接触した際の、操作力 f_h を力覚センサ3により検出し、また、接触による推定外力 f_e および手先位置 x_d は、ロボットアーム2を駆動するアクチュエータ5から得られる位置情報等に基づいて演算して求める構成としている。

【0042】

実験結果を、図5(a)、(b)、(c)の各図に示している。尚、図5(a)、(b)、(c)各図は横軸に時間(s)を取っているが、その時間が9(s)を過ぎたあたりに施している点線が接触したタイミングを示しており、そのタイミングにおいてロボットアーム2が障害物7と接触している。

30

まず、通常のアドミッタンス制御(即ち、操作力 f_h の情報のみでロボットアーム2をアシスト制御する)による実験結果を示す。

図5(a)に示す如く、この場合、ロボットアーム2が環境(障害物7)に接触した後も、ほとんど接触による影響がなく手先位置 x_d および操作力 f_h は変化している。

一方、この場合には制御に用いられていないが、接触による推定外力 f_e は大きく変化しているため、この制御方法では環境を破壊してしまう危険性があることが判る。

【0043】

次に、さらに接触による推定外力 f_e の情報を加味した場合のアドミッタンス制御(即ち、操作力 f_h と接触による推定外力 f_e の情報でロボットアーム2をアシスト制御する)による実験結果を示す。

40

図5(b)に示す如く、この場合、ロボットアーム2が環境(障害物7)に接触した後は、手先位置 x_d がそれ以上環境にめり込むようなことはないが、接触による推定外力 f_e の変化により、発振現象が生じていることが判る。

このとき、操作者の手加減により押付け力を弱くすれば発振させないこともできるが、微妙な力加減が必要となる。

【0044】

最後の、本発明に係る制御方法を適用し、接触による推定外力 f_e を修正し、修正外力 f'_e の情報を加味したアドミッタンス制御による実験結果を示す。

50

図5(c)に本発明に係るアドミッタンス制御(即ち、外力 f_e を操作力 f_h に応じて修正した情報(修正外力 f'_e)でロボットアーム2をアシスト制御する)による実験結果を示す。

この場合、ロボットアーム2が環境(障害物7)に接触してから押付け状態に至るまで、手先位置 x_d が発振すること無く一定位置で安定しており、安定した接触状態を維持していることが確認できる。

【0045】

このように、本発明に係る制御方法を適用することにより、ロボットが環境と接触しても発振現象を生じることが無いため、安定した接触状態を維持できるパワーアシスト装置を提供することが可能となるのである。

10

【図面の簡単な説明】

【0046】

【図1】本発明の一実施例に係る操作者によるロボットアームと環境との接触作業の状況を示す模式図。

【図2】本発明に係るアドミッタンス制御の制御フロー図。

【図3】多次元の系に対する本発明の適用を説明する速度ベクトル図。

【図4】本発明の適用効果を確認する実験装置の概略平面図および側面図。

【図5】同じく適用効果を表す測定データ。

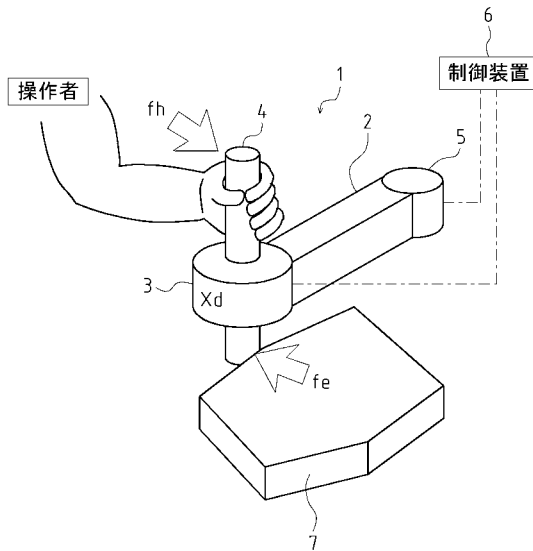
【符号の説明】

【0047】

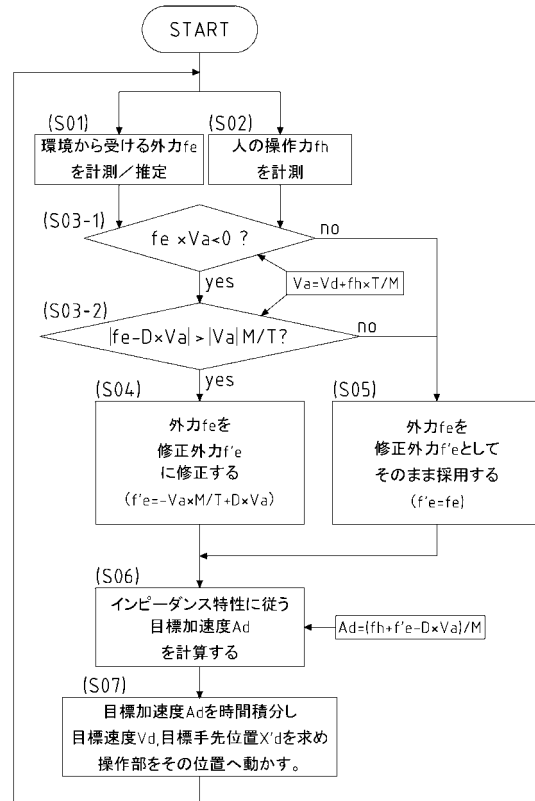
20

- 1 パワーアシスト装置
- 2 ロボットアーム
- 3 力覚センサ
- 4 操作ハンドル
- 5 アクチュエータ
- 6 制御装置
- 7 障害物

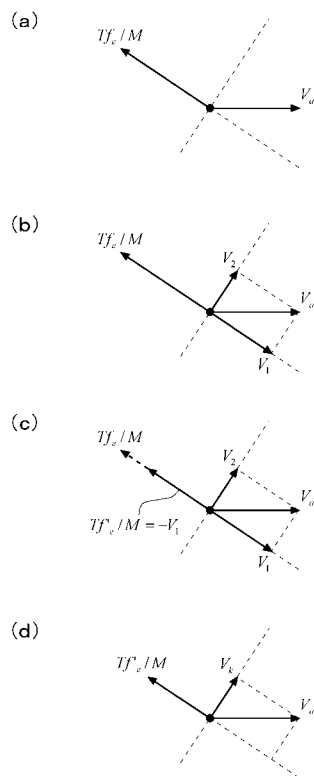
【図 1】



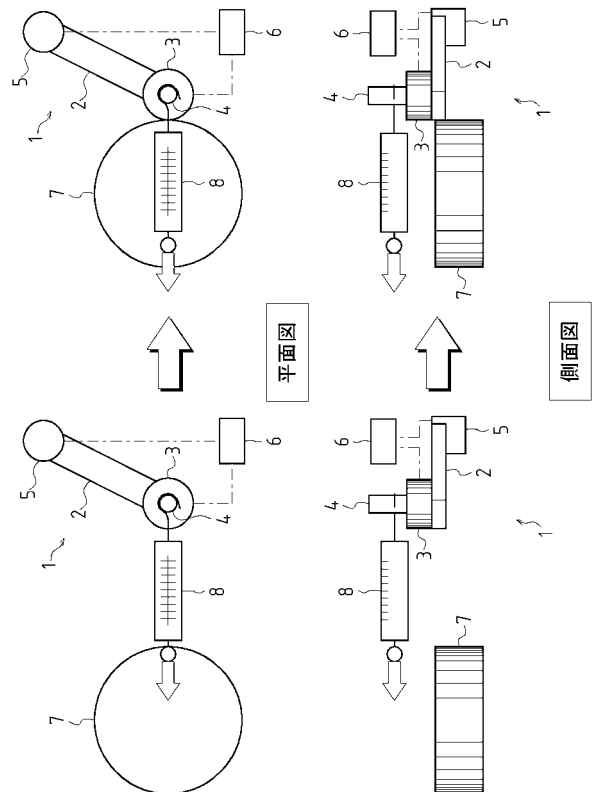
【図 2】



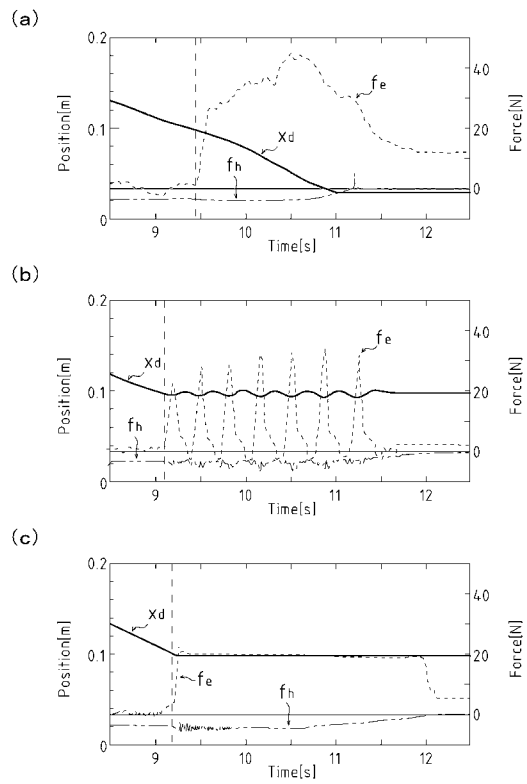
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

審査官 所村 美和

- (56)参考文献 特開2005-193339 (JP, A)
特開2006-312207 (JP, A)
特開2005-014132 (JP, A)
特開2005-306546 (JP, A)
特開平08-241107 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00-21/02
B62D 65/00
B66F 19/00