

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4743699号  
(P4743699)

(45) 発行日 平成23年8月10日(2011.8.10)

(24) 登録日 平成23年5月20日(2011.5.20)

(51) Int.Cl. F 1  
B 2 5 J 9/10 (2006.01) B 2 5 J 9/10 A

請求項の数 5 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2005-325277 (P2005-325277)</p> <p>(22) 出願日 平成17年11月9日(2005.11.9)</p> <p>(65) 公開番号 特開2007-7837 (P2007-7837A)</p> <p>(43) 公開日 平成19年1月18日(2007.1.18)</p> <p>審査請求日 平成20年3月27日(2008.3.27)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2005-164567 (P2005-164567)</p> <p>(32) 優先日 平成17年6月3日(2005.6.3)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国(JP)</p> <p>(出願人による申告)平成17年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「超高速知能ネットワーク社会に向けた新しいインタラクション・メディアの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2</p> <p>(74) 代理人 100067828 弁理士 小谷 悦司</p> <p>(74) 代理人 100096150 弁理士 伊藤 孝夫</p> <p>(74) 代理人 100109438 弁理士 大月 伸介</p> <p>(72) 発明者 荒川 佳樹 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p>審査官 松浦 陽</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位置制御装置、位置制御方法及び位置制御プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

関節を介して複数のリンクを連結したリンク機構の所定部位を目標3次元位置及び目標方向に制御する位置制御装置であって、

リンク機構の所定部位の目標3次元位置データ及び目標方向データからなる目標データをP、リンク機構の各関節角度を  $\theta_i$  とし、目標データPから関節角度  $\theta_i$  を求める解法処理に使用されるデータを固定長数値データ形式から可変長整数データ形式へ変換する変換手段と、

前記解法処理において、前記変換手段により変換された可変長整数データ形式のデータを用いて、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算を実行する無誤差演算手段とを備え、

前記変換手段は、前記無誤差演算手段の演算結果を可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換し、

前記解法処理において、前記変換手段により変換された固定長数値データ形式の演算結果を用いて1回のみの除算を含む固定長数値演算を実行することにより固定長数値データ形式の関節角度  $\theta_i$  を求める誤差演算手段をさらに備えることを特徴とする位置制御装置。

【請求項2】

前記無誤差演算手段は、 $\theta_i = \theta_i' + \Delta\theta_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) (ここで、 $\theta_i$  は関節iの求める関節角度、 $\theta_i'$  は微小時間  $t$  前の関節iの関節角度、 $\Delta\theta_i$  は微小時間  $t$  経過後の関節iの微小関節角度変化量、 $n$  は求める関節角度の数) とし、 $n$  元連立

一次方程式  $A \theta = B$  (ここで、 $A$ はその要素  $a_{ij}$  ( $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n$ ) がリンク機構のリンク長及び微小時間  $t$  前の関節  $i$  の関節角度  $\theta_i$  により決定される係数行列、 $B$ はその要素  $b_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) が目標データ  $P$  及び微小時間  $t$  前の位置方向データ  $P'$  により決定されるベクトル) を  $A_n \theta = B_n$  (ここで、 $A_n$ は対角要素  $a_{ii}^{n+1}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) 以外が0となる対角行列、 $B_n$ は要素  $b_i^{n+1}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) のベクトル) に変形したときの係数データ  $a_{ii}^{n+1}$  及び係数データ  $b_i^{n+1}$  を、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算を用いて求め、

前記変換手段は、前記無誤差演算手段により求められた係数データ  $a_{ii}^{n+1}$  及び係数データ  $b_i^{n+1}$  を可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換し、

前記誤差演算手段は、前記変換手段により変換された固定長数値データ形式の係数データ  $a_{ii}^{n+1}$  及び係数データ  $b_i^{n+1}$  を用いて、 $\theta_i = \theta_i' + b_i^{n+1} / a_{ii}^{n+1}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) を固定長数値演算により求めることを特徴とする請求項1記載の位置制御装置。

#### 【請求項3】

操作者の所定部位の3次元位置及び方向を検出する検出手段をさらに備え、

前記検出手段により検出された3次元位置及び方向を前記リンク機構の所定部位の目標3次元位置データ及び目標方向データとして用いて、前記リンク機構の所定部位を目標3次元位置及び目標方向に制御することを特徴とする請求項1又は2に記載の位置制御装置。

#### 【請求項4】

関節を介して複数のリンクを連結したリンク機構の所定部位を目標3次元位置及び目標方向に制御するロボットアーム制御方法であって、

前記リンク機構の所定部位の目標3次元位置データ及び目標方向データからなる目標データを  $P$ 、前記リンク機構の各関節角度を  $\theta$  とし、目標データ  $P$  から関節角度  $\theta$  を求める解法処理に使用されるデータを固定長数値データ形式から可変長整数データ形式へ変換する変換ステップと、

前記解法処理において、変換された可変長整数データ形式の係数データを用いて、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算を実行する無誤差演算ステップとを含み、

前記変換ステップは、前記無誤差演算ステップにおける演算結果を可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換するステップを含み、

前記解法処理において、前記変換ステップにおいて変換された固定長数値データ形式の演算結果を用いて1回のみを除算を含む固定長数値演算を実行することにより固定長数値データ形式の関節角度  $\theta$  を求める誤差演算ステップをさらに含むことを特徴とする位置制御方法。

#### 【請求項5】

関節を介して複数のリンクを連結したリンク機構の所定部位を目標3次元位置及び目標方向に制御するための位置制御プログラムであって、

前記リンク機構の所定部位の目標3次元位置データ及び目標方向データからなる目標データを  $P$ 、前記リンク機構の各関節角度を  $\theta$  とし、目標データ  $P$  から関節角度  $\theta$  を求める解法処理に使用されるデータを固定長数値データ形式から可変長整数データ形式へ変換する変換手段と、

前記解法処理において、前記変換手段により変換された可変長整数データ形式の係数データを用いて、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算を実行する無誤差演算手段としてコンピュータを機能させ、

前記変換手段は、前記無誤差演算手段の演算結果を可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換し、

前記解法処理において、前記変換手段により変換された固定長数値データ形式の演算結果を用いて1回のみを除算を含む固定長数値演算を実行することにより固定長数値データ形式の関節角度  $\theta$  を求める誤差演算手段として前記コンピュータをさらに機能させることを特徴とする位置制御プログラム。

10

20

30

40

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、関節を介して複数のリンクを連結したリンク機構の所定部位、例えば、先端部を目標3次元位置及び目標方向に制御する位置制御装置、位置制御方法及び位置制御プログラムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来のロボットアームの制御方式としては、スレーブアームと同じ軸構成等を有するマスターアームを操作者が操作してスレーブアームを制御するマスターアーム方式、操作者の腕と手の主要部（各関節）にセンサを装着して操作者の腕と手の関節の動きを検出してロボットアームを制御するモーションキャプチャー方式、操作者の手首・手の甲等に付けた3次元位置方向センサにより操作者の手首・手の甲の3次元位置及び方向を検出し、このデータを用いてアーム（リンク）の各関節角度を求める逆変換を行ってロボットアームを制御する逆変換方式等の種々の方式がある。

## 【0003】

上記のマスターアーム方式では、操作者側には、制御されるスレーブアームだけでなく、マスターアームが必要となり、システムが重装備になる。また、モーションキャプチャー方式では、操作者の腕と手の複数箇所にセンサを装着する必要があるため、操作者にとって煩わしいものとなる。

## 【0004】

一方、逆変換方式では、操作者は手の甲等に1個のセンサのみを装着するだけで済み、操作者にとって煩わしさが無いが、操作者の手首の位置と方向データから各関節角度を求める逆変換が必要となる。この逆変換では、人の腕のような高い自由度（6自由度以上）を持つ軸構成における各関節角度を求める必要があるため、逆変換が非線形連立方程式となり、複雑な計算となる。

## 【0005】

このため、本願発明者は、逆変換が非線形連立方程式とならず、単純且つ少ない演算量で厳密解を求めることができるロボットアーム・ハンドの操作方法を提案した（特許文献1参照）。この操作方法では、ロボットアームの操作者の手首に付けたセンサにより検出された3次元位置及び方向からアームの各関節角度を求めるために、浮動小数点演算を用いた誤差有り演算を用いている。この浮動小数点フォーマットを用いた実数表現は、非常に小さな数から大きな数まで表現でき、計算効率がよいという優れた特徴があるため、逆変換のような実数の数値計算に適している。

【特許文献1】特開2005-46931号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

しかしながら、上記の浮動小数点演算を用いた数値制御では、以下のような問題がある。

(1) 浮動小数点演算では、数値演算誤差が発生し、且つその蓄積が起こるため、演算結果に大きな誤差が含まれる場合があり、ロボットアームの先端位置が大幅にずれる場合がある。

(2) 上記の数値演算誤差とその蓄積のために、当初想定していなかった状態が発生し、結果として制御が破綻してロボットアーム動作が暴走する状況が発生する。

(3) 上記のロボットアーム動作の暴走を防止するためには、暴走対策を施す必要があるため、制御が複雑化する。

## 【0007】

本発明の目的は、リンク機構の制御動作を安定化及び高信頼化することができるように、リンク機構を高精度に制御することができる位置制御装置、位置制御方法及び位置制

10

20

30

40

50

御プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る位置制御装置は、関節を介して複数のリンクを連結したリンク機構の所定部位を目標3次元位置及び目標方向に制御する位置制御装置であって、リンク機構の所定部位の目標3次元位置データ及び目標方向データからなる目標データをP、リンク機構の各関節角度を  $\theta_i$  とし、目標データPから関節角度  $\theta_i$  を求める解法処理に使用されるデータを固定長数値データ形式から可変長整数データ形式へ変換する変換手段と、上記解法処理において、変換手段により変換された可変長整数データ形式のデータを用いて、除算を除く加減算及び乗算からなる無誤差演算を実行する無誤差演算手段とを備え、前記変換手段は、前記無誤差演算手段の演算結果を可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換し、前記解法処理において、前記変換手段により変換された固定長数値データ形式の演算結果を用いて1回のみを除算を含む固定長数値演算を実行することにより固定長数値データ形式の関節角度  $\theta_i$  を求める誤差演算手段をさらに備えるものである。

10

【0009】

本発明に係る位置制御装置では、目標データPから関節角度  $\theta_i$  を求める解法処理において、この解法処理に使用されるデータが固定長数値データ形式から可変長整数データ形式へ変換され、変換された可変長整数データ形式のデータを用いて、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算が実行される。この無誤差演算においては、数値演算誤差が発生せず、その蓄積もないため、リンク機構の制御動作を安定化及び高信頼化することができる。とともに、リンク機構を高精度に制御することができる。

20

【0011】

この場合、目標データPから関節角度  $\theta_i$  を求める解法処理において、可変長整数データ形式の係数データを用いて、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算が実行された後、この演算結果が可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換され、変換された固定長数値データ形式の演算結果を用いて1回のみを除算を含む固定長数値演算が実行され、固定長数値データ形式の関節角度  $\theta_i$  が算出されるので、上記解法処理において、数値演算誤差の発生を多くとも1回の除算によるものだけに制限して数値演算誤差を非常に小さくすることができる。とともに、その蓄積を防止することができる。

【0012】

無誤差演算手段は、 $\theta_i = \theta_i' + \Delta\theta_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) (ここで、 $\theta_i$  は関節  $i$  の求める関節角度、 $\theta_i'$  は微小時間  $t$  前の関節  $i$  の関節角度、 $\Delta\theta_i$  は微小時間  $t$  経過後の関節  $i$  の微小関節角度変化量、 $n$  は求める関節角度  $\theta_i$  の数) とし、 $n$  元連立一次方程式  $A \theta = B$  (ここで、 $A$  はその要素  $a_{ij}$  ( $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n$ ) がリンク機構のリンク長及び微小時間  $t$  前の関節  $i$  の関節角度  $\theta_i'$  により決定される係数行列、 $B$  はその要素  $b_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) が目標データP及び微小時間  $t$  前の位置方向データP'により決定されるベクトル) を  $A_n \theta = B_n$  (ここで、 $A_n$  は対角要素  $a_{i+1, i}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) 以外が0となる対角行列、 $B_n$  は要素  $b_{i+1, i}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) のベクトル) に変形したときの係数データ  $a_{i+1, i}$  及び係数データ  $b_{i+1, i}$  を、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算を用いて求め、変換手段は、無誤差演算手段により求められた係数データ  $a_{i+1, i}$  及び係数データ  $b_{i+1, i}$  を可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換し、誤差演算手段は、変換手段により変換された固定長数値データ形式の係数データ  $a_{i+1, i}$  及び係数データ  $b_{i+1, i}$  を用いて、 $\theta_i = \theta_i' + b_{i+1, i} / a_{i+1, i}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) を固定長数値演算により求めることが好ましい。

30

40

【0013】

この場合、目標データPから関節角度  $\theta_i$  を求める解法処理において、 $\theta_i = \theta_i' + b_{i+1, i} / a_{i+1, i}$  以外の演算を、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算により実行するとともに、数値演算誤差の発生を多くとも  $\theta_i = \theta_i' + b_{i+1, i} / a_{i+1, i}$  における1回の除算だけに制限しているため、関節角度  $\theta_i$  を高精度に求める

50

ことができる。

【 0 0 1 4 】

上記位置制御装置は、操作者の所定部位の3次元位置及び方向を検出する検出手段をさらに備え、検出手段により検出された3次元位置及び方向をリンク機構の所定部位の目標3次元位置データ及び目標方向データとして用いて、リンク機構の所定部位を目標3次元位置及び目標方向に制御することが好ましい。

【 0 0 1 5 】

この場合、リンク機構の所定部位を操作者の所定部位の動きに応じた目標3次元位置及び目標方向に高精度に制御することができる。

【 0 0 1 6 】

本発明に係る位置制御方法は、関節を介して複数のリンクを連結したリンク機構の所定部位を目標3次元位置及び目標方向に制御するロボットアーム制御方法であって、リンク機構の所定部位の目標3次元位置データ及び目標方向データからなる目標データをP、リンク機構の各関節角度を  $\theta$  とし、目標データPから関節角度  $\theta$  を求める解法処理に使用されるデータを固定長数値データ形式から可変長整数データ形式へ変換する変換ステップと、上記解法処理において、変換された可変長整数データ形式のデータを用いて、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算を実行する無誤差演算ステップとを含み、前記変換ステップは、前記無誤差演算ステップにおける演算結果を可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換するステップを含み、前記解法処理において、前記変換ステップにおいて変換された固定長数値データ形式の演算結果を用いて1回のみの除算を含む固定長数値演算を実行することにより固定長数値データ形式の関節角度  $\theta$  を求める誤差演算ステップをさらに含むものである。

【 0 0 1 7 】

本発明に係る位置制御プログラムは、関節を介して複数のリンクを連結したリンク機構の所定部位を目標3次元位置及び目標方向に制御するための位置制御プログラムであって、リンク機構の所定部位の目標3次元位置データ及び目標方向データからなる目標データをP、リンク機構の各関節角度を  $\theta$  とし、目標データPから関節角度  $\theta$  を求める解法処理に使用されるデータを固定長数値データ形式から可変長整数データ形式へ変換する変換手段と、上記解法処理において、変換手段により変換された可変長整数データ形式の係数データを用いて、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算を実行する無誤差演算手段としてコンピュータを機能させ、前記変換手段は、前記無誤差演算手段の演算結果を可変長整数データ形式から固定長数値データ形式へ変換し、前記解法処理において、前記変換手段により変換された固定長数値データ形式の演算結果を用いて1回のみの除算を含む固定長数値演算を実行することにより固定長数値データ形式の関節角度  $\theta$  を求める誤差演算手段として前記コンピュータをさらに機能させるものである。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、目標データPから関節角度  $\theta$  を求める解法処理において、可変長整数データ形式のデータを用いて、除算を除く加算、減算及び乗算からなる無誤差演算が実行され、この無誤差演算においては、数値演算誤差が発生せず、その蓄積もないため、リンク機構の制御動作を安定化及び高信頼化することができるとともに、リンク機構を高精度に制御することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 9 】

以下、本発明の一実施の形態による位置制御装置の一例であるロボットアーム制御装置をいたロボットアーム制御システムについて図面を参照しながら説明する。

【 0 0 2 0 】

図1は、本発明の一実施の形態によるロボットアーム制御装置を用いたロボットアーム制御システムの構成を示すブロック図である。図1に示すロボットアーム制御システムは、ロボットアーム制御装置1、ロボットアーム部2、3次元操作グローブ3、3次元位置

10

20

30

40

50

方向センサ 4 及び 3 次元ディスプレイ 5 を備える。

【 0 0 2 1 】

ロボットアーム部 2 は、一对のロボットアーム 2 1 及びハンド 2 2、胴体部 2 3 並びにカメラ部 2 4 を備え、人の上半身（頭部を除く）と同程度の大きさと同程度の自由度とを有し、両腕と両手の機能を実現している。

【 0 0 2 2 】

ロボットアーム 2 1 は、肩、肘及び手首に関節を有し、これらの関節を介してリンクとなる上腕 2 1 a 及び前腕 2 1 b が連結されたリンク機構（マニプレータ）であり、人の腕と同程度の大きさ及び自由度を有する。ハンド 2 2 は、人の手と同程度の大きさ及び自由度を有する触覚付きの 5 本指ロボットハンドであり、前腕 2 1 b の先端に取り付けられる。ハンド 2 2 には触覚センサ（図示省略）が設けられており、物をつかんだ時の触覚（圧力）がロボットアーム制御装置 1 を介して 3 次元操作グローブ 3 へ伝達される。

10

【 0 0 2 3 】

なお、図示を省略しているが、ロボットアーム 2 1 及びハンド 2 2 は、その内部にモータ等の駆動源を有し、この駆動源により任意の角度に駆動される。また、本実施の形態では、ロボットアーム 2 1 を人の腕に模倣させ、ハンド 2 2 を人の手指に模倣させているが、ロボットアーム及びハンドの構成は、この例に特に限定されず、ハンド 2 2 の指の数を増減させる等の種々の変更が可能である。また、リンク機構の関節数及びリンク数も、上記の例に特に限定されず、種々の変更が可能である。

【 0 0 2 4 】

カメラ部 2 4 は、3 次元カメラ（ステレオカメラ）等から構成され、ロボットアーム制御装置 1 を介して、撮影した画像を 3 次元ディスプレイ 5 へ出力する。3 次元ディスプレイ 5 は、カメラ部 2 4 により撮影された画像を表示し、操作者 M に提示する。なお、撮影された画像の提示方法は、この例に特に限定されず、3 次元ディスプレイに替えて、操作者 M に装着させたヘッドマウントディスプレイに表示させる等の種々の変更が可能である。

20

【 0 0 2 5 】

3 次元操作グローブ 3 は、公知の 3 次元操作用データグローブから構成され、操作者 M の両手にそれぞれ装着される。3 次元操作グローブ 3 は、操作者 M の手の甲及び指の動き（関節角度）を検出し、検出した関節角度データをロボットアーム制御装置 1 へ出力する。3 次元操作グローブ 3 の手首の位置には、3 次元位置方向センサ 4 が取り付けられ、3 次元位置方向センサ 4 は、前腕 2 1 b の先端部の目標 3 次元位置及び目標方向として、操作者 M の手首の 3 次元位置及び方向を検出し、検出した 3 次元位置データ及び方向データをロボットアーム制御装置 1 へ出力する。

30

【 0 0 2 6 】

なお、目標 3 次元位置及び目標方向を検出又は入力する方法は、上記の例に特に限定されず、データグローブ又はデータスーツ等から操作者の所定部位の 3 次元位置及び方向を検出したり、ハプティクス・デバイス等を用いて入力したりしてもよい。

【 0 0 2 7 】

ロボットアーム制御装置 1 は、操作者 M の両手に装着された 3 次元操作グローブ 3 及び 3 次元位置方向センサ 4 からの検出結果を基に、ロボットアーム 2 1 及びハンド 2 2 の各関節角度を算出する。ハンド 2 2 に関しては、3 次元操作グローブ 3 が手の甲の曲がり（手首の）角度及び指の関節角度を検出し、ロボットアーム制御装置 1 は、これらの角度データに基づいてハンド 2 2 を制御する。

40

【 0 0 2 8 】

一方、ロボットアーム 2 1 に関しては、操作者 M の手首に装着した 3 次元位置方向センサ 4 から操作者 M の手首の 3 次元位置及びその方向、すなわち、ロボットアーム 2 1 の先端部の目標 3 次元位置及び目標方向が得られるだけである。このため、ロボットアーム 2 1 の先端部の目標 3 次元位置データ及び目標方向データから、ロボットアーム 2 1 の各関節角度を計算する必要がある。このように、ロボットアーム 2 1 の先端部の 3 次元位置及

50

び方向からロボットアーム 2 1 の各関節角度を計算することを逆変換と呼び、これとは逆に、ロボットアーム 2 1 の各関節角度からロボットアーム 2 1 の先端部の 3 次元位置及び方向を計算することを順変換と呼ぶことにする。

【 0 0 2 9 】

図 2 は、図 1 に示すロボットアーム制御装置 1 の構成を示すブロック図である。図 2 に示すように、ロボットアーム制御装置 1 は、外部インターフェース部 1 1、浮動小数点データ記憶部 1 2、データ変換処理部 1 3、可変長整数データ記憶部 1 4、誤差有制御処理部 1 5 及び無誤差制御処理部 1 6 を備える。誤差有制御処理部 1 5 は、座標変換処理部 1 5 a 及び浮動小数点演算部 1 5 b を備え、無誤差制御処理部 1 6 は、方程式解法処理部 1 6 a 及び可変長整数演算部 1 6 b を備える。

10

【 0 0 3 0 】

ロボットアーム制御装置 1 は、CPU (中央演算処理装置)、ROM (リードオンメモリ)、RAM (ランダムアクセスメモリ)、外部記憶装置、記録媒体駆動装置、入力装置、表示装置、外部機器インターフェース等を備えるコンピュータから構成することができる。この場合、後述するロボットアーム制御処理 (位置制御処理) を実行するためのロボットアーム制御プログラム (位置制御プログラム) を、CPU 等を用いて実行することにより、外部インターフェース部 1 1、浮動小数点データ記憶部 1 2、データ変換処理部 1 3、可変長整数データ記憶部 1 4、誤差有制御処理部 1 5 及び無誤差制御処理部 1 6 としてコンピュータを機能させることができる。なお、ロボットアーム制御装置 1 の構成は、この例に特に限定されず、上記の各機能の一部又は全部を専用のハードウェアから構成する等の種々の変更が可能である。

20

【 0 0 3 1 】

外部インターフェース部 1 1 は、3 次元位置方向センサ 4 から 3 次元位置データ及び方向データを取得して浮動小数点データ記憶部 1 2 に格納する。また、外部インターフェース部 1 1 は、ロボットアーム制御処理により求められた関節角度を浮動小数点データ記憶部 1 2 から読み出してロボットアーム部 2 へ出力し、ロボットアーム 2 1 の各関節角度がロボットアーム制御処理により求められた関節角度に制御される。

【 0 0 3 2 】

浮動小数点データ記憶部 1 2 は、誤差有制御処理部 1 5 において処理される種々のデータを浮動小数点データ形式で記憶し、可変長整数データ記憶部 1 4 は、無誤差制御処理部 1 6 において処理される種々のデータを可変長整数データ形式で記憶する。

30

【 0 0 3 3 】

図 3 は、浮動小数点データ及び可変長整数データのデータ構成の一例を示す図である。図 3 の ( a ) に示すように、固定長数値データの一例である浮動小数点データは、符号部、指数部及び仮数部から構成され、このようなデータ形式で浮動小数点データ記憶部 1 2 に格納される。また、図 3 の ( b ) に示すように、可変長整数データは、語長部、符号部、及び数値部 (整数表現) から構成され、このようなデータ形式で可変長整数データ記憶部 1 4 に格納される。

【 0 0 3 4 】

データ変換処理部 1 3 は、浮動小数点データ記憶部 1 2 から浮動小数点データを読み出し、読み出した浮動小数点データを可変長整数データへ変換し、変換した可変長整数データを可変長整数データ記憶部 1 4 に格納する。また、データ変換処理部 1 3 は、可変長整数データ記憶部 1 4 から可変長整数データを読み出し、読み出した可変長整数データを浮動小数点データへ変換し、変換した浮動小数点データを浮動小数点データ記憶部 1 2 に格納する。

40

【 0 0 3 5 】

なお、本発明に用いられる固定長数値データは、上記の例に特に限定されず、例えば、固定長整数データを用いることもできる。図 3 の ( c ) に示すように、固定長整数データは、符号部及び数値部 (整数表現) から構成され、この固定長整数データ形式も、固定長であるため、誤差 (数値のオーバーフロー及びそのまらめによる誤差) が発生し、本発明

50

を同様に適用することができる。

【 0 0 3 6 】

例えば、3次元位置方向センサ4が出力する値(角度)が、 $-255 \sim +255$ 等の整数値であり、ロボットアーム21の関節を動作させるモータに対する出力(回転角度)も、 $-1000 \sim +1000$ パルス等の整数値である場合、浮動小数点データ記憶部12を固定長数値データ記憶部に変更し、固定長整数データ形式で各データを格納するようにしてもよい。また、固定長整数データ形式でデータを取り扱う場合、浮動小数点演算部15bを固定長整数演算部に変更し、固定長整数演算部により固定長整数演算を実行するようにしてもよい。

【 0 0 3 7 】

誤差有制御処理部15は、ロボットアーム部2のロボットアーム21及びハンド22の制御処理のうち、固定長数値演算の一例である浮動小数点演算を用いた誤差有制御処理を実行する。座標変換処理部15aは、浮動小数点データ記憶部12から浮動小数点データを読み出し、浮動小数点演算部15bを用いて座標変換処理等( $\sin$ 、 $\cos$ 演算)を浮動小数点演算で実行し、演算結果を浮動小数点データ記憶部12に格納する。浮動小数点演算部15bは、加算器、減算器、乗算器及び除算器としての機能を有し、浮動小数点演算を用いて、加算、減算、乗算及び除算を実行する。

【 0 0 3 8 】

無誤差制御処理部16は、ロボットアーム部2のロボットアーム21及びハンド22の制御処理のうち、可変長整数演算を用いた無誤差制御処理を実行する。方程式解法処理部16aは、可変長整数データ記憶部14から可変長整数データを読み出し、制御方程式の求解等を可変長整数演算部16bを用いて可変長整数演算で実行し、演算結果を可変長整数データ記憶部14に格納する。可変長整数演算部16bは、加算器、減算器及び乗算器としての機能を有し、可変長整数演算を用いて、加算、減算及び乗算を無誤差で実行する。

【 0 0 3 9 】

ここで、本実施の形態の制御対象となるロボットアーム21について詳細に説明する。図4は、図1に示すロボットアーム部2における右側のロボットアーム21の構成を示す模式図であり、図5は、図1に示す右側のロボットアーム21の座標系を説明するための図である。なお、左側のロボットアーム21も、図4及び図5に示す右側のロボットアーム21と同様に構成されているので、詳細な説明は省略する。

【 0 0 4 0 】

図4に示すように、グローバル座標系の原点Oを上腕21aの右肩(第1関節)に、グローバル座標系のX座標軸を胴体部23(図1参照)の正面方向に沿って床面と平行方向に、グローバル座標系のY座標軸を右肩から左肩方向に、グローバル座標系のZ座標軸を床面から天井への垂直方向にそれぞれ設定する。また、ロボットアーム21の上腕21aの長さを $e_1$ 、前腕21bの長さを $e_2$ とし、上腕21aの肩関節のうち第1関節(Y軸回り)の関節角度 $\theta_1$ 、第2関節(X軸回り)の関節角度 $\theta_2$ 、第3関節(Z軸回り)の関節角度 $\theta_3$ とし、上腕21aと前腕21bとの間の第4関節(Y軸回り)の関節角度 $\theta_4$ 、第5関節(Z軸回り)の関節角度 $\theta_5$ とし、前腕21bとハンド22との間の第6関節(Y軸回り)の関節角度 $\theta_6$ とする。

【 0 0 4 1 】

このとき、前腕21bの先端位置・方向 $P_s$ すなわち操作者Mの手首に装着した3次元位置方向センサ4が示すグローバル座標に対する変換行列を $H_{0_s}$ とすると、以下の式(1)のように表現することができる。

【 0 0 4 2 】

10

20

30

40

【数 1】

$$H_{0s} = \begin{pmatrix} u_{xs} & u_{ys} & u_{zs} & x_s \\ v_{xs} & v_{ys} & v_{zs} & y_s \\ w_{xs} & w_{ys} & w_{zs} & z_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

【0043】

ここで、図 5 に示すように、3次元位置方向センサ 4 の 3次元位置は  $P_s (x_s, y_s, z_s)$ 、3次元位置方向センサ 4 の方向を表す X 軸方向の単位ベクトルは  $d_{xs} (u_{xs}, v_{xs}, w_{xs})$ 、Y 軸方向の単位ベクトルは  $d_{ys} (u_{ys}, v_{ys}, w_{ys})$ 、Z 軸方向の単位ベクトルは  $d_{zs} (u_{zs}, v_{zs}, w_{zs})$  となる。これらの値はすべて、3次元位置方向センサ 4 から取得されるので、既知となる。一方、 $H_{0s}$  の各要素は、各アーム（上腕 21a 及び前腕 21b）の軸の長さ  $e_1, e_2$  と各関節角度  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$  を用いて、以下のように表現することができる。

【0044】

【数 2】

$$\left. \begin{aligned} u_{xs} &= C_1 C_3 C_4 C_5 + S_1 S_2 S_3 C_4 C_5 - S_1 C_2 S_4 C_5 - C_1 S_3 S_5 + S_1 S_2 C_3 S_5 \\ v_{xs} &= C_2 S_3 C_4 C_5 + S_2 S_4 C_5 + C_2 C_3 S_5 \\ w_{xs} &= -S_1 C_3 C_4 C_5 + C_1 S_2 S_3 C_4 C_5 - C_1 C_2 S_4 C_5 + S_1 S_3 S_5 + C_1 S_2 C_3 S_5 \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} u_{ys} &= -C_1 C_3 C_4 S_5 - S_1 S_2 S_3 C_4 S_5 + S_1 C_2 S_4 S_5 - C_1 S_3 C_5 + S_1 S_2 C_3 C_5 \\ v_{ys} &= -C_2 S_3 C_4 S_5 - S_2 S_4 S_5 + C_2 C_3 C_5 \\ w_{ys} &= S_1 C_3 C_4 S_5 - C_1 S_2 S_3 C_4 S_5 + C_1 C_2 S_4 S_5 + S_1 S_3 C_5 + C_1 S_2 C_3 C_5 \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} u_{zs} &= C_1 C_3 S_4 + S_1 S_2 S_3 S_4 + S_1 C_2 C_4 \\ v_{zs} &= C_2 S_3 S_4 - S_2 C_4 \\ w_{zs} &= -S_1 C_3 S_4 + C_1 S_2 S_3 S_4 + C_1 C_2 C_4 \end{aligned} \right\} (4)$$

$$\left. \begin{aligned} x_s &= -C_1 C_3 S_4 e_2 - S_1 S_2 S_3 S_4 e_2 - S_1 C_2 C_4 e_2 - S_1 C_2 e_1 \\ y_s &= -C_2 S_3 S_4 e_2 + S_2 C_4 e_2 + S_2 e_1 \\ z_s &= S_1 C_3 S_4 e_2 - C_1 S_2 S_3 S_4 e_2 - C_1 C_2 C_4 e_2 - C_1 C_2 e_1 \end{aligned} \right\} (5)$$

【0045】

ここで、 $C_n = \cos(\theta_n)$ 、 $S_n = \sin(\theta_n)$  ( $n = 1, \dots, 5$ ) であり、関節角度  $\theta_n$  は、アーム動作により刻々と変化するので、時間  $t$  の関数となり、 $\theta_n'$  を微小時間  $\Delta t$  前の関節角度（直前の関節角度）とし、微小時間  $\Delta t$  経過後における微小関節角度変化量を  $\Delta \theta_n$  とすると、以下のように表現することができる。

$$\theta_n = \theta_n' + \Delta \theta_n \quad (6)$$

ここで、微小時間  $\Delta t$  前の関節角度値  $\theta_n'$  は既知であり、微小時間  $\Delta t$  は制御時間間隔である。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

上記の前提を基に、以下のように近似することができる。なお、下記式では、 $(\quad)^2$  は微小であるので、 $(\quad)^2$  以上の高次項は無視できるとした。

$$\sin(\quad) = \sin(\quad + \quad) \sin(\quad) + (\sin(\quad))' = \sin(\quad) + \cos(\quad) \quad (7a)$$

$$\cos(\quad) = \cos(\quad + \quad) \cos(\quad) + (\cos(\quad))' = \cos(\quad) - \sin(\quad) \quad (7b)$$

上記の式(7a)、(7b)を式(2)～(5)へ代入すると、以下となる。なお、こ  
こでも、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  等の高次の  $\Delta\theta$  は微小であり、無視できるとした。

【 0 0 4 7 】

【 数 3 】

$$\begin{aligned} u_{xs} &= C_1 C_3 C_4 C_5 + S_1 S_2 S_3 C_4 C_5 - S_1 C_2 S_4 C_5 - C_1 S_3 S_5 + S_1 S_2 C_3 S_5 \\ &= (C_1' C_3' C_4' C_5' + S_1' S_2' S_3' C_4' C_5' - S_1' C_2' S_4' C_5' - C_1' S_3' S_5' + S_1' S_2' C_3' S_5') \\ &\quad + (-S_1' C_3' C_4' C_5' + C_1' S_2' S_3' C_4' C_5' - C_1' C_2' S_4' C_5' + S_1' S_3' S_5' + C_1' S_2' C_3' S_5') \Delta\theta_1 \\ &\quad + (S_1' C_2' S_3' C_4' C_5' + S_1' S_2' S_4' C_5' + S_1' C_2' C_3' S_5') \Delta\theta_2 \\ &\quad + (-C_1' S_3' C_4' C_5' + S_1' S_2' C_3' C_4' C_5' - C_1' C_3' S_5' - S_1' S_2' S_3' S_5') \Delta\theta_3 \\ &\quad + (-C_1' C_3' S_4' C_5' - S_1' S_2' S_3' S_4' C_5' - S_1' C_2' C_4' C_5') \Delta\theta_4 \\ &\quad + (-C_1' C_3' C_4' S_5' - S_1' S_2' S_3' C_4' S_5' + S_1' C_2' S_4' S_5' - C_1' S_3' C_5' + S_1' S_2' C_3' C_5') \Delta\theta_5 \\ v_{xs} &= C_2 S_3 C_4 C_5 + S_2 S_4 C_5 + C_2 C_3 S_5 \\ &= C_2' S_3' C_4' C_5' + S_2' S_4' C_5' + C_2' C_3' S_5' \\ &\quad + (-S_2' S_3' C_4' C_5' + C_2' S_4' C_5' - S_2' C_3' S_5') \Delta\theta_2 \\ &\quad + (C_2' C_3' C_4' C_5' - C_2' S_3' S_5') \Delta\theta_3 \\ &\quad + (-C_2' S_3' S_4' C_5' + S_2' C_4' C_5') \Delta\theta_4 \\ &\quad + (-C_2' S_3' C_4' S_5' - S_2' S_4' S_5' + C_2' C_3' C_5') \Delta\theta_5 \\ w_{xs} &= -S_1 C_3 C_4 C_5 + C_1 S_2 S_3 C_4 C_5 - C_1 C_2 S_4 C_5 + S_1 S_3 S_5 + C_1 S_2 C_3 S_5 \\ &= -S_1' C_3' C_4' C_5' + C_1' S_2' S_3' C_4' C_5' - C_1' C_2' S_4' C_5' + S_1' S_3' S_5' + C_1' S_2' C_3' S_5' \\ &\quad + (-C_1' C_3' C_4' C_5' - S_1' S_2' S_3' C_4' C_5' + S_1' C_2' S_4' C_5' + C_1' S_3' S_5' - S_1' S_2' C_3' S_5') \Delta\theta_1 \\ &\quad + (C_1' C_2' S_3' C_4' C_5' + C_1' S_2' S_4' C_5' + C_1' C_2' C_3' S_5') \Delta\theta_2 \\ &\quad + (S_1' S_3' C_4' C_5' + C_1' S_2' C_3' C_4' C_5' + S_1' C_3' S_5' - C_1' S_2' S_3' S_5') \Delta\theta_3 \\ &\quad + (S_1' C_3' S_4' C_5' - C_1' S_2' S_3' S_4' C_5' - C_1' C_2' C_4' C_5') \Delta\theta_4 \\ &\quad + (S_1' C_3' C_4' S_5' - C_1' S_2' S_3' C_4' S_5' + C_1' C_2' S_4' S_5' + S_1' S_3' C_5' + C_1' S_2' C_3' C_5') \Delta\theta_5 \end{aligned} \quad (8)$$

【 0 0 4 8 】

10

20

30

40

【数 4】

$$\begin{aligned}
u_{ys} &= -C_1 C_3 C_4 S_5 - S_1 S_2 S_3 C_4 S_5 + S_1 C_2 S_4 S_5 - C_1 S_3 C_5 + S_1 S_2 C_3 C_5 \\
&= -C_1' C_3' C_4' S_5' - S_1' S_2' S_3' C_4' S_5' + S_1' C_2' S_4' S_5' - C_1' S_3' C_5' + S_1' S_2' C_3' C_5' \\
&\quad + (S_1' C_3' C_4' S_5' - C_1' S_2' S_3' C_4' S_5' + C_1' C_2' S_4' S_5' + S_1' S_3' C_5' + C_1' S_2' C_3' C_5') \Delta \theta_1 \\
&\quad + (-S_1' C_2' S_3' C_4' S_5' - S_1' S_2' S_4' S_5' + S_1' C_2' C_3' C_5') \Delta \theta_2 \\
&\quad + (C_1' S_3' C_4' S_5' - S_1' S_2' C_3' C_4' S_5' - C_1' C_3' C_5' - S_1' S_2' S_3' C_5') \Delta \theta_3 \\
&\quad + (C_1' C_3' S_4' S_5' + S_1' S_2' S_3' S_4' S_5' + S_1' C_2' C_4' S_5') \Delta \theta_4 \\
&\quad + (-C_1' C_3' C_4' C_5' - S_1' S_2' S_3' C_4' C_5' + S_1' C_2' S_4' C_5' + C_1' S_3' S_5' - S_1' S_2' C_3' S_5') \Delta \theta_5 \\
v_{ys} &= -C_2 S_3 C_4 S_5 - S_2 S_4 S_5 + C_2 C_3 C_5 \\
&= -C_2' S_3' C_4' S_5' - S_2' S_4' S_5' + C_2' C_3' C_5' \\
&\quad + (S_2' S_3' C_4' S_5' - C_2' S_4' S_5' - S_2' C_3' C_5') \Delta \theta_2 \\
&\quad + (-C_2' C_3' C_4' S_5' - C_2' S_3' C_5') \Delta \theta_3 \\
&\quad + (C_2' S_3' S_4' S_5' - S_2' C_4' S_5') \Delta \theta_4 \\
&\quad + (-C_2' S_3' C_4' C_5' - S_2' S_4' C_5' - C_2' C_3' S_5') \Delta \theta_5 \\
w_{ys} &= S_1 C_3 C_4 S_5 - C_1 S_2 S_3 C_4 S_5 + C_1 C_2 S_4 S_5 + S_1 S_3 C_5 + C_1 S_2 C_3 C_5 \\
&= S_1' C_3' C_4' S_5' - C_1' S_2' S_3' C_4' S_5' + C_1' C_2' S_4' S_5' + S_1' S_3' C_5' + C_1' S_2' C_3' C_5' \\
&\quad + (C_1' C_3' C_4' S_5' + S_1' S_2' S_3' C_4' S_5' - S_1' C_2' S_4' S_5' + C_1' S_3' C_5' - S_1' S_2' C_3' C_5') \Delta \theta_1 \\
&\quad + (-C_1' C_2' S_3' C_4' S_5' - C_1' S_2' S_4' S_5' + C_1' C_2' C_3' C_5') \Delta \theta_2 \\
&\quad + (-S_1' S_3' C_4' S_5' - C_1' S_2' C_3' C_4' S_5' + S_1' C_3' C_5' - C_1' S_2' S_3' C_5') \Delta \theta_3 \\
&\quad + (-S_1' C_3' S_4' S_5' + C_1' S_2' S_3' S_4' S_5' + C_1' C_2' C_4' S_5') \Delta \theta_4 \\
&\quad + (S_1' C_3' C_4' C_5' - C_1' S_2' S_3' C_4' C_5' + C_1' C_2' S_4' C_5' - S_1' S_3' S_5' - C_1' S_2' C_3' S_5') \Delta \theta_5
\end{aligned}
\tag{9}$$

10

20

30

【 0 0 4 9 】

【数 5】

$$\begin{aligned}
 u_{zs} &= C_1 C_3 S_4 + S_1 S_2 S_3 S_4 + S_1 C_2 C_4 \\
 &= C_1' C_3' S_4' + S_1' S_2' S_3' S_4' + S_1' C_2' C_4' \\
 &\quad + (-S_1' C_3' S_4' + C_1' S_2' S_3' S_4' + C_1' C_2' C_4') \Delta\theta_1 \\
 &\quad + (S_1' C_2' S_3' S_4' - S_1' S_2' C_4') \Delta\theta_2 \\
 &\quad + (-C_1' S_3' S_4' + S_1' S_2' C_3' S_4') \Delta\theta_3 \\
 &\quad + (C_1' C_3' C_4' + S_1' S_2' S_3' C_4' - S_1' C_2' S_4') \Delta\theta_4 \\
 v_{zs} &= C_2 S_3 S_4 - S_2 C_4 \\
 &= C_2' S_3' S_4' - S_2' C_4' \\
 &\quad + (-S_2' S_3' S_4' - C_2' C_4') \Delta\theta_2 \\
 &\quad + C_2' C_3' S_4' \Delta\theta_3 \\
 &\quad + (C_2' S_3' C_4' + S_2' S_4') \Delta\theta_4 \\
 w_{zs} &= -S_1 C_3 S_4 + C_1 S_2 S_3 S_4 + C_1 C_2 C_4 \\
 &= -S_1' C_3' S_4' + C_1' S_2' S_3' S_4' + C_1' C_2' C_4' \\
 &\quad + (-C_1' C_3' S_4' - S_1' S_2' S_3' S_4' - S_1' C_2' C_4') \Delta\theta_1 \\
 &\quad + (C_1' C_2' S_3' S_4' - C_1' S_2' C_4') \Delta\theta_2 \\
 &\quad + (S_1' S_3' S_4' + C_1' S_2' C_3' S_4') \Delta\theta_3 \\
 &\quad + (-S_1' C_3' C_4' + C_1' S_2' S_3' C_4' - C_1' C_2' S_4') \Delta\theta_4
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

【 0 0 5 0 】

【数 6】

$$\begin{aligned}
 x_s &= -C_1 C_3 S_4 e_2 - S_1 S_2 S_3 S_4 e_2 - S_1 C_2 C_4 e_2 - S_1 C_2 e_1 \\
 &= -C'_1 C'_3 S'_4 e_2 - S'_1 S'_2 S'_3 S'_4 e_2 - S'_1 C'_2 C'_4 e_2 - S'_1 C'_2 e_1 \\
 &\quad + (S'_1 C'_3 S'_4 e_2 - C'_1 S'_2 S'_3 S'_4 e_2 - C'_1 C'_2 C'_4 e_2 - C'_1 C'_2 e_1) \Delta \theta_1 \\
 &\quad + (-S'_1 C'_2 S'_3 S'_4 e_2 + S'_1 S'_2 C'_4 e_2 + S'_1 S'_2 e_1) \Delta \theta_2 \\
 &\quad + (C'_1 S'_3 S'_4 e_2 - S'_1 S'_2 C'_3 S'_4 e_2) \Delta \theta_3 \\
 &\quad + (-C'_1 C'_3 C'_4 e_2 - S'_1 S'_2 S'_3 C'_4 e_2 + S'_1 C'_2 S'_4 e_2) \Delta \theta_4 \\
 y_s &= -C_2 S_3 S_4 e_2 + S_2 C_4 e_2 + S_2 e_1 \\
 &= -C'_2 S'_3 S'_4 e_2 + S'_2 C'_4 e_2 + S'_2 e_1 \\
 &\quad + (S'_2 S'_3 S'_4 e_2 + C'_2 C'_4 e_2 + C'_2 e_1) \Delta \theta_2 \\
 &\quad - C'_2 C'_3 S'_4 e_2 \Delta \theta_3 \\
 &\quad + (-C'_2 S'_3 C'_4 e_2 - S'_2 S'_4 e_2) \Delta \theta_4 \\
 z_s &= S_1 C_3 S_4 e_2 - C_1 S_2 S_3 S_4 e_2 - C_1 C_2 C_4 e_2 - C_1 C_2 e_1 \\
 &= S'_1 C'_3 S'_4 e_2 - C'_1 S'_2 S'_3 S'_4 e_2 - C'_1 C'_2 C'_4 e_2 - C'_1 C'_2 e_1 \\
 &\quad + (C'_1 C'_3 S'_4 e_2 + S'_1 S'_2 S'_3 S'_4 e_2 + S'_1 C'_2 C'_4 e_2 + S'_1 C'_2 e_1) \Delta \theta_1 \\
 &\quad + (-C'_1 C'_2 S'_3 S'_4 e_2 + C'_1 S'_2 C'_4 e_2 + C'_1 S'_2 e_1) \Delta \theta_2 \\
 &\quad + (-S'_1 S'_3 S'_4 e_2 - C'_1 S'_2 C'_3 S'_4 e_2) \Delta \theta_3 \\
 &\quad + (S'_1 C'_3 C'_4 e_2 - C'_1 S'_2 S'_3 C'_4 e_2 + C'_1 C'_2 S'_4 e_2) \Delta \theta_4
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

【0051】

上記各式より、式(1)は、以下のように表現することができる。

【0052】

10

20

30

【数7】

$$H_{0s} = H'_{0s} + \Delta H_{0s} \quad (12)$$

$$\begin{pmatrix} u_{xs} \\ v_{xs} \\ w_{xs} \\ u_{ys} \\ v_{ys} \\ w_{ys} \\ u_{zs} \\ v_{zs} \\ w_{zs} \\ x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u'_{xs} \\ v'_{xs} \\ w'_{xs} \\ u'_{ys} \\ v'_{ys} \\ w'_{ys} \\ u'_{zs} \\ v'_{zs} \\ w'_{zs} \\ x'_s \\ y'_s \\ z'_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} h_{011} & h_{012} & h_{013} & h_{014} & h_{015} \\ h_{021} & h_{022} & h_{023} & h_{024} & h_{025} \\ h_{031} & h_{032} & h_{033} & h_{034} & h_{035} \\ h_{041} & h_{042} & h_{043} & h_{044} & h_{045} \\ h_{051} & h_{052} & h_{053} & h_{054} & h_{055} \\ h_{061} & h_{062} & h_{063} & h_{064} & h_{065} \\ h_{071} & h_{072} & h_{073} & h_{074} & h_{075} \\ h_{081} & h_{082} & h_{083} & h_{084} & h_{085} \\ h_{091} & h_{092} & h_{093} & h_{094} & h_{095} \\ h_{101} & h_{102} & h_{103} & h_{104} & h_{105} \\ h_{111} & h_{112} & h_{113} & h_{114} & h_{115} \\ h_{121} & h_{122} & h_{123} & h_{124} & h_{125} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \\ \Delta\theta_4 \\ \Delta\theta_5 \end{pmatrix} \quad (13)$$

【0053】

そこで、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$  は、以下の5元連立一次方程式の解として求めることができる。

【0054】

【数8】

$$\begin{pmatrix} h_{101} & h_{102} & h_{103} & h_{104} & h_{105} \\ h_{111} & h_{112} & h_{113} & h_{114} & h_{115} \\ h_{121} & h_{122} & h_{123} & h_{124} & h_{125} \\ h_{021} & h_{022} & h_{023} & h_{024} & h_{025} \\ h_{081} & h_{082} & h_{083} & h_{084} & h_{085} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \\ \Delta\theta_4 \\ \Delta\theta_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_s - x'_s \\ y_s - y'_s \\ z_s - z'_s \\ v_{xs} - v'_{xs} \\ v_{zs} - v'_{zs} \end{pmatrix} \quad (14)$$

【0055】

また、上式の左辺の行列の各要素を係数  $a_{ij}$  ( $i = 1, \dots, 5, j = 1, \dots, 5$ )、右辺のベクトルの各要素を係数  $b_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) で表すと、以下のように表現することができる。

【0056】

10

20

30

40

【数 9】

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \\ \Delta\theta_4 \\ \Delta\theta_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{pmatrix} \quad (15)$$

10

【0057】

上記の5元連立一次方程式の解法では、加減乗除算が繰り返されるために、浮動小数点演算を用いた数値計算では、数値演算誤差とその蓄積のために解の誤差が大きくなり、連立方程式の解を求める処理が演算誤差のために暴走及び破綻することが多々ある。このように解の誤差が大きくなること、及び連立方程式の解を求める処理が暴走及び破綻することは、ロボットアームが人に危害を加える恐れがあるため、ロボットアームの制御においては許されない。また、除算を使用する場合、数値計算に計算精度の低下等の様々な悪影響を及ぼすことはもちろんのこと、無誤差演算自体を行うことはできない。

【0058】

このため、本実施の形態では、ガウス・ジョルダンの消去法を基本にし、最後の1回を除いて除算が発生しない無誤差連立一次方程式解法処理を考案し、式(15)の解法に誤差を発生させない無誤差演算を用い、各関節角度  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$  を以下のようにして求めている。

20

【0059】

まず、式(15)の係数  $a_{ij}$  ( $i = 1, \dots, 5, j = 1, \dots, 5$ ) 及び係数  $b_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) を用いて、 $k = 1, \dots, 5$  として、下記の式を繰り返し演算することにより係数  $a^6_{ij}$  及び係数  $b^6_i$  を求める。

$$a^{k+1}_{ij} = a^k_{ij} \quad (i = k) \quad (16a)$$

$$a^{k+1}_{ij} = a^k_{ij} a^k_{kk} - a^k_{kj} a^k_{ik} \quad (i \neq k) \quad (16b)$$

$$b^{k+1}_i = b^k_i \quad (i = k) \quad (16c)$$

$$b^{k+1}_i = b^k_i a^k_{kk} - b^k_k a^k_{ik} \quad (i \neq k) \quad (16d)$$

30

上記の係数  $a^6_{ij}$  及び係数  $b^6_i$  により、式(15)は以下の形式となる。

【0060】

【数10】

$$\begin{pmatrix} a^6_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a^6_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a^6_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a^6_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a^6_{55} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \\ \Delta\theta_3 \\ \Delta\theta_4 \\ \Delta\theta_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b^6_1 \\ b^6_2 \\ b^6_3 \\ b^6_4 \\ b^6_5 \end{pmatrix} \quad (17)$$

40

【0061】

上記のように、式(17)の左辺の係数行列は、対角要素以外が0となる対角行列となる。上記の演算までは、除算を使用する必要がないため、本実施の形態では、式(15)の連立一次方程式の解法処理のうち上記の演算までの処理を、無誤差制御処理部16による無誤差演算を用いて実行し、ここまでの演算を無誤差で行っている。

【0062】

次に、各関節角度  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$  は、以下の式により求めることができ

50

る。

【 0 0 6 3 】

【 数 1 1 】

$$\begin{cases} \theta_1 = \theta'_1 + \Delta\theta_1 = \theta'_1 + b^6_1/a^6_{11} \\ \theta_2 = \theta'_2 + \Delta\theta_2 = \theta'_2 + b^6_2/a^6_{22} \\ \theta_3 = \theta'_3 + \Delta\theta_3 = \theta'_3 + b^6_3/a^6_{33} \\ \theta_4 = \theta'_4 + \Delta\theta_4 = \theta'_4 + b^6_4/a^6_{44} \\ \theta_5 = \theta'_5 + \Delta\theta_5 = \theta'_5 + b^6_5/a^6_{55} \end{cases} \quad (18)$$

10

【 0 0 6 4 】

上記の式(18)の演算だけは、除算が回避できないために、本実施の形態では、誤差有制御処理部15による浮動小数点演算を用いて実行している。この浮動小数点演算により誤差が発生するが、この処理は最終処理であり、且つ1回の除算を行うだけであるため、除算に十分な精度が確保されていれば、誤差が問題になることはなく、誤差の蓄積も起こらない。なお、手首の角度 $\theta_6$ は、3次元操作グローブ3により直接取得することができるので、上記の無誤差連立一次方程式解法処理からは求めていない。

【 0 0 6 5 】

ロボットアーム制御装置1は、上記の無誤差連立一次方程式解法処理(目標データPから関節角度 $\theta_i$ を求める解法処理)を以下のようにして実行している。

20

【 0 0 6 6 】

外部インターフェース部11は、ロボットアームの21の先端部の目標3次元位置(3次元位置方向センサ4の3次元位置 $P_s$ )及び目標方向(X、Y、Z軸方向の単位ベクトル $d_{xs}$ 、 $d_{ys}$ 、 $d_{zs}$ )からなる目標データPを3次元位置方向センサ4から取得し、浮動小数点データ記憶部12に浮動小数点データ形式で記憶させる。このとき、浮動小数点データ記憶部12には、微小時間 $t$ 前の位置方向データ $P'$ 及び微小時間 $t$ 前の関節角度データ $\theta'_i$ が記憶されており、また、上腕21aの長さ $e_1$ 、前腕21bの長さ $e_2$ 等の初期値は予め記憶されているものとする。

30

【 0 0 6 7 】

ここで、上記の微小時間 $t$ 前の位置方向データ $P'$ は、微小時間 $t$ 前の目標データではなく、微小時間 $t$ 前の実際の3次元位置データ及び方向データであり、微小時間 $t$ 前の関節角度データ $\theta'_i$ もアームの実際の関節角度である。これは、後述するように、 $P'$ 、 $\theta'_i$ 及びPから $\theta_i$ を求め(線形近似後、連立一次方程式を無誤差で解く)、そして、 $\theta_i = \theta'_i + \Delta\theta_i$ から $\Delta\theta_i$ を求めており、ここで(線形)近似しているため、このから求めた実際の位置方向データは目標データと一致せず、次の時刻の計算では、微小時間 $t$ 前の目標データ等ではなく、微小時間 $t$ 前の実際の3次元位置データ及び方向データ、並びに微小時間 $t$ 前の実際の関節角度データを用いているためである。

【 0 0 6 8 】

座標変換処理部15aは、浮動小数点データ記憶部12から微小時間 $t$ 前の関節角度 $\theta'_i$ 、上腕21aの長さ $e_1$ 、前腕21bの長さ $e_2$ を読み出し、浮動小数点演算部15bを用いて浮動小数点演算を実行することにより式(15)の係数データ $a_{ij}$ を算出し、浮動小数点データ記憶部12に記憶させる。また、座標変換処理部15aは、浮動小数点データ記憶部12から目標データP及び微小時間 $t$ 前の位置方向データ $P'$ を読み出し、浮動小数点演算部15bを用いて浮動小数点演算を実行することにより式(15)の係数データ $b_i$ を算出し、浮動小数点データ記憶部12に記憶させる。

40

【 0 0 6 9 】

データ変換処理部13は、浮動小数点データ記憶部12から係数 $a_{ij}$ 及び係数 $b_i$ を順次読み出し、浮動小数点データ形式から可変長整数データ形式に変換した係数 $a_{ij}$ 及

50

び係数  $b_i$  を、係数  $a^{1}_{ij}$  及び係数  $b^1_i$  として可変長整数データ記憶部 14 に格納する。

【0070】

方程式解法処理部 16 a は、可変長整数データ記憶部 14 から係数  $a^{1}_{ij}$  及び係数  $b^1_i$  を読み出し、可変長整数演算部 16 b を用いて可変長整数演算（無誤差演算）を実行することにより、式（16 a）乃至（16 d）を用いて係数  $a^{k+1}_{ij}$  及び  $b^{k+1}_i$  を順次算出し、最終的に係数  $a^6_{ij}$  及び  $b^6_i$  を可変長整数データ記憶部 14 に格納する。

【0071】

データ変換処理部 13 は、可変長整数データ記憶部 14 から係数  $a^6_{ij}$  及び係数  $b^6_i$  を順次読み出し、可変長整数データ形式から浮動小数点データ形式に変換した係数  $a^6_{ij}$  及び係数  $b^6_i$  を浮動小数点データ記憶部 12 に格納する。

10

【0072】

座標変換処理部 15 a は、浮動小数点データ記憶部 12 から係数  $a^6_{ij}$  及び係数  $b^6_i$  を順次読み出し、浮動小数点演算部 15 b を用いて浮動小数点演算の除算を 1 回だけ実行することにより、微小関節角度変化量  $\theta_i = b^6_i / a^6_{ij}$  を算出し、浮動小数点データ記憶部 12 に格納する。そして、座標変換処理部 15 a は、浮動小数点データ記憶部 12 から直前の関節角度値  $\theta'_i$  及び微小関節角度変化量  $\theta_i$  を順次読み出し、浮動小数点演算部 15 b を用いて浮動小数点演算を実行することにより式（18）を用いて関節角度  $\theta_i$  を算出し、浮動小数点データ記憶部 12 に格納する。

20

【0073】

外部インターフェース部 11 は、浮動小数点データ記憶部 12 から関節角度  $\theta_i$  を読み出してロボットアーム部 2 へ出力する。ロボットアーム部 2 は、ロボットアーム 21 の各関節角度が関節角度  $\theta_i$  となるようにロボットアーム 21 を動作させる。

【0074】

上記の制御動作により、操作者 M は、3次元ディスプレイ 5 を用いて、カメラ部 24 により撮影された画像を見ながら、両手に装着した3次元操作グローブ 3 を用いて、ロボットアーム 21 及びハンド 22 を操作し、操作者 M の腕と手の動きとがロボットアーム 21 及びハンド 22 により忠実に再現される。

【0075】

本実施の形態では、データ変換処理部 13 が変換手段の一例に相当し、無誤差制御処理部 16（方程式解法処理部 16 a 及び可変長整数演算部 16 b）が無誤差演算手段の一例に相当し、誤差有制御処理部 15（座標変換処理部 15 a 及び浮動小数点演算部 15 b）が誤差演算手段の一例に相当する。

30

【0076】

次に、上記のように構成されたロボットアーム制御装置 1 によるロボットアーム制御処理について説明する。図 6 は、図 1 に示すロボットアーム制御装置 1 によるロボットアーム制御処理を説明するためのフローチャートである。

【0077】

図 6 に示すように、まず、ステップ S11 において、外部インターフェース部 11 は、3次元位置方向センサ 4 から 3次元位置データ  $P_s(x_s, y_s, z_s)$ 、X 軸方向の単位ベクトル  $d_{x_s}(u_{x_s}, v_{x_s}, w_{x_s})$ 、Y 軸方向の単位ベクトル  $d_{y_s}(u_{y_s}, v_{y_s}, w_{y_s})$ 、及び Z 軸方向の単位ベクトル  $d_{z_s}(u_{z_s}, v_{z_s}, w_{z_s})$  を取得して浮動小数点データ記憶部 12 に格納する。

40

【0078】

次に、ステップ S12 において、座標変換処理部 15 a は、浮動小数点データ記憶部 12 から 3次元位置データ  $P_s(x_s, y_s, z_s)$  等を順次読み出し、浮動小数点演算部 15 b を用いて、式（15）の係数  $a_{ij}$ （ $i = 1, \dots, 5, j = 1, \dots, 5$ ）及び係数  $b_i$ （ $i = 1, \dots, 5$ ）を求め、浮動小数点データ記憶部 12 に格納する。

【0079】

50

次に、ステップS 1 3において、データ変換処理部 1 3 は、浮動小数点データ記憶部 1 2 から係数  $a_{ij}$  及び係数  $b_i$  を順次読み出し、浮動小数点データ形式から可変長整数データ形式に変換した係数  $a_{ij}$  及び係数  $b_i$  を、係数  $a^1_{ij}$  及び係数  $b^1_i$  として可変長整数データ記憶部 1 4 に格納する。

【0080】

なお、上記のステップS 1 2 及びS 1 3 では、浮動小数点演算を用いて3次元位置データ  $P_s(x_s, y_s, z_s)$  等から係数  $a_{ij}$  及び係数  $b_i$  を求めた後に、可変長整数データへフォーマット変換したが、この例に特に限定されず、データ変換処理部 1 3 により3次元位置データ  $P_s(x_s, y_s, z_s)$ 、X軸方向の単位ベクトル  $d_{x_s}(u_{x_s}, v_{x_s}, w_{x_s})$ 、Y軸方向の単位ベクトル  $d_{y_s}(u_{y_s}, v_{y_s}, w_{y_s})$ 、及びZ軸方向の単位ベクトル  $d_{z_s}(u_{z_s}, v_{z_s}, w_{z_s})$  を浮動小数点データから可変長整数データに変換し、その後、方程式解法処理部 1 6 a により可変長整数データの3次元位置データ  $P_s(x_s, y_s, z_s)$  等から可変長整数データの係数  $a_{ij}$  及び係数  $b_i$  を求めるようにしてもよい。

10

【0081】

次に、ステップS 1 4 ~ S 1 6 において、方程式解法処理部 1 6 a は、初期設定として、 $k = 1$ 、 $i = 1$ 、 $j = 1$  に設定する。次に、ステップS 1 7 において、方程式解法処理部 1 6 a は、可変長整数データ記憶部 1 4 から係数  $a^k_{ij}$ 、 $a^k_{kk}$ 、 $a^k_{kj}$ 、 $a^k_{ik}$  を読み出し、可変長整数演算部 1 6 b を用いて、 $i = k$  の場合は  $a^{k+1}_{ij} = a^k_{ij}$  に設定し、 $i \neq k$  の場合は  $a^{k+1}_{ij} = a^k_{ij} a^k_{kk} - a^k_{kj} a^k_{ik}$  を算出し、係数  $a^{k+1}_{ij}$  を可変長整数データ記憶部 1 4 に格納する。

20

【0082】

次に、ステップS 1 8 において、方程式解法処理部 1 6 a は、 $j < 5$  であるか否かを判断し、 $j < 5$  の場合、ステップS 2 7 において  $j$  を1だけインクリメントしてステップS 1 7 以降の処理を継続し、 $j < 5$  でない ( $j = 5$ ) 場合、ステップS 1 9 へ処理を移行する。

【0083】

$j < 5$  でない場合、ステップS 1 9 において、方程式解法処理部 1 6 a は、可変長整数データ記憶部 1 4 から係数  $b^k_i$ 、 $a^k_{kk}$ 、 $b^k_k$ 、 $a^k_{ik}$  を読み出し、可変長整数演算部 1 6 b を用いて、 $i = k$  の場合は  $b^{k+1}_i = b^k_i$  に設定し、 $i \neq k$  の場合は  $b^{k+1}_i = b^k_i a^k_{kk} - b^k_k a^k_{ik}$  を算出し、係数  $b^{k+1}_i$  を可変長整数データ記憶部 1 4 に格納する。

30

【0084】

次に、ステップS 2 0 において、方程式解法処理部 1 6 a は、 $i < 5$  であるか否かを判断し、 $i < 5$  の場合、ステップS 2 6 において  $i$  を1だけインクリメントしてステップS 1 6 以降の処理を継続し、 $i < 5$  でない ( $i = 5$ ) 場合、ステップS 2 1 へ処理を移行する。

【0085】

$i < 5$  でない場合、ステップS 2 1 において、方程式解法処理部 1 6 a は、 $k < 5$  であるか否かを判断し、 $k < 5$  の場合、ステップS 2 5 において  $k$  を1だけインクリメントしてステップS 1 5 以降の処理を継続し、 $k < 5$  でない ( $k = 5$ ) 場合、ステップS 2 2 へ処理を移行する。このように、ステップS 1 4 ~ S 2 1 及びS 2 5 ~ S 2 7 までの処理が無誤差演算を用いて実行される。

40

【0086】

次に、ステップS 2 2 において、データ変換処理部 1 3 は、可変長整数データ記憶部 1 4 から係数  $a^6_{ii}$  及び係数  $b^6_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) を順次読み出し、可変長整数データ形式から浮動小数点データ形式に変換し、変換した係数  $a^6_{ii}$  及び係数  $b^6_i$  を浮動小数点データ記憶部 1 2 に格納する。

【0087】

次に、ステップS 2 3 において、座標変換処理部 1 5 a は、浮動小数点データ記憶部 1

50

2 から係数  $a^6_{i_i}$  及び係数  $b^6_{i_i}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) を順次読み出し、浮動小数点演算部 15 b を用いて、微小関節角度変化量  $\theta_i = b^6_{i_i} / a^6_{i_i}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) を算出し、浮動小数点データ記憶部 12 に格納する。

【0088】

次に、ステップ S 24 において、座標変換処理部 15 a は、浮動小数点データ記憶部 12 から直前の関節角度値  $\theta'_i$  及び微小関節角度変化量  $\theta_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) を順次読み出し、浮動小数点演算部 15 b を用いて、式 (18) に従って関節角度  $\theta_i = \theta'_i + \theta_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) を算出し、浮動小数点データ記憶部 12 に格納する。このとき、外部インターフェース部 11 は、浮動小数点データ記憶部 12 から関節角度  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$  を読み出してロボットアーム部 2 へ出力する。

10

【0089】

ロボットアーム部 2 は、ロボットアーム 21 の各関節角度が関節角度  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$  となるようにロボットアーム 21 を動作させる。なお、手首の関節角度  $\theta_6$  は、3次元操作グローブ 3 から直接取得することができるので、3次元操作グローブ 3 により検出された関節角度  $\theta_6$  がロボットアーム制御装置 1 を介してロボットアーム部 2 へ出力され、ロボットアーム部 2 は、ロボットアーム 21 の手首の関節角度が関節角度  $\theta_6$  となるようにロボットアーム 21 を動作させる。上記の処理が制御時間間隔ごとに繰り返され、ロボットアーム 21 の先端位置が操作者 M の手首の位置に応じて正確に制御される。

【0090】

上記の処理により、本実施の形態では、ロボットアーム制御処理において用いられる逆変換制御演算（連立一次方程式解法）に使用される数値を可変長の整数により表現するとともに、除算を実行することなく（最後の除算を除く）、加算、減算及び乗算のみを用いた無誤差演算処理を実行し、制御演算誤差をなくすることができる。

20

【0091】

この結果、ロボットアーム 21 の先端部を高精度に制御できるとともに、制御処理の破綻をなくしてロボットアーム 21 の動作の暴走等をなくことができ、ロボットアーム 21 の動作の安定化及び高信頼化を図ることができる。また、ロボットアーム 21 の暴走防止対策等が不要となるので、ロボットアーム制御装置 1 の構成を単純化することができ、装置の低コスト化を実現することができる。

30

【0092】

なお、本実施の形態では、操作者の手首の位置及び方向を検出し、これらを目標位置及び目標方向として制御したが、本発明による制御例は、この例に特に限定されず、3次元操作グローブ 3、3次元位置方向センサ 4 及び 3次元ディスプレイ 5 を省略し、テーチングを行うことにより浮動小数点データ記憶部 12 に記憶した目標位置及び目標方向となるようにロボットアーム 21 を制御する等の他の制御例にも適用可能である。また、ロボットアーム 21 を制御対象としたが、この例に特に限定されず、ハンド 22 を制御対象にする等の種々の変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図 1】本発明の一実施の形態によるロボットアーム制御装置を用いたロボットアーム制御システムの構成を示すブロック図である。

40

【図 2】図 1 に示すロボットアーム制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 3】浮動小数点データ及び可変長整数データのデータ構成の一例を示す図である。

【図 4】図 1 に示すロボットアーム部における右側のロボットアームの構成を示す模式図である。

【図 5】図 3 に示す右側のロボットアームの座標系を説明するための図である。

【図 6】図 1 に示すロボットアーム制御装置によるロボットアーム制御処理を説明するためのフローチャートである。

【符号の説明】

50

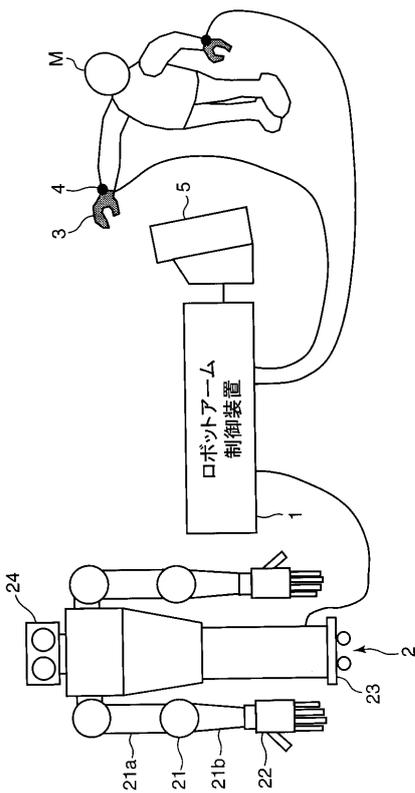
【 0 0 9 4 】

- 1 ロボットアーム制御装置
- 2 ロボットアーム部
- 3 3次元操作グローブ
- 4 3次元位置方向センサ
- 5 3次元ディスプレイ
- 11 外部インターフェース部
- 12 浮動小数点データ記憶部
- 13 データ変換処理部
- 14 可変長整数データ記憶部
- 15 誤差有制御処理部
- 15 a 座標変換処理部
- 15 b 浮動小数点演算部
- 16 無誤差制御処理部
- 16 a 方程式解法処理部
- 16 b 可変長整数演算部
- 21 ロボットアーム
- 21 a 上腕
- 21 b 前腕
- 22 ハンド
- 23 胴体部
- 24 カメラ部

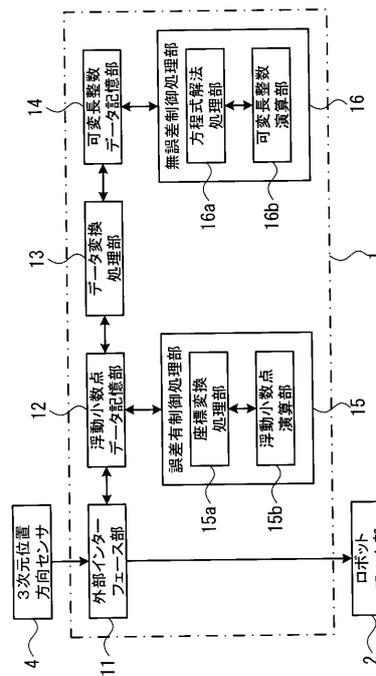
10

20

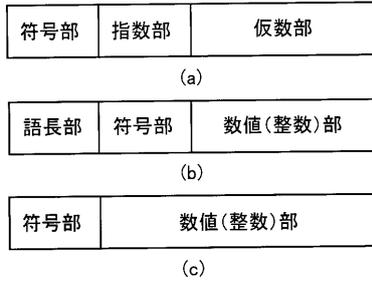
【 図 1 】



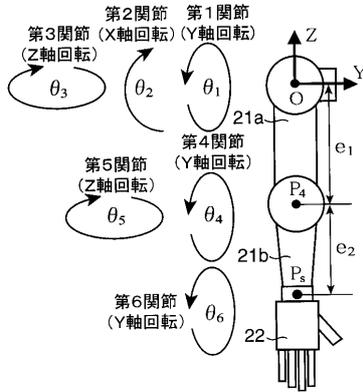
【 図 2 】



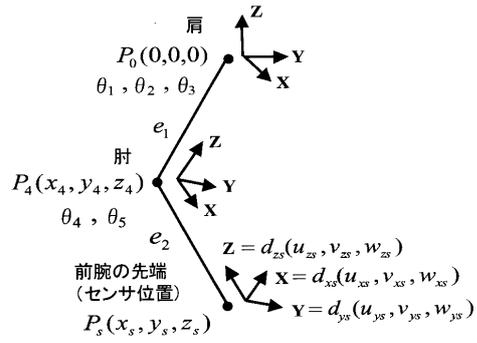
【図3】



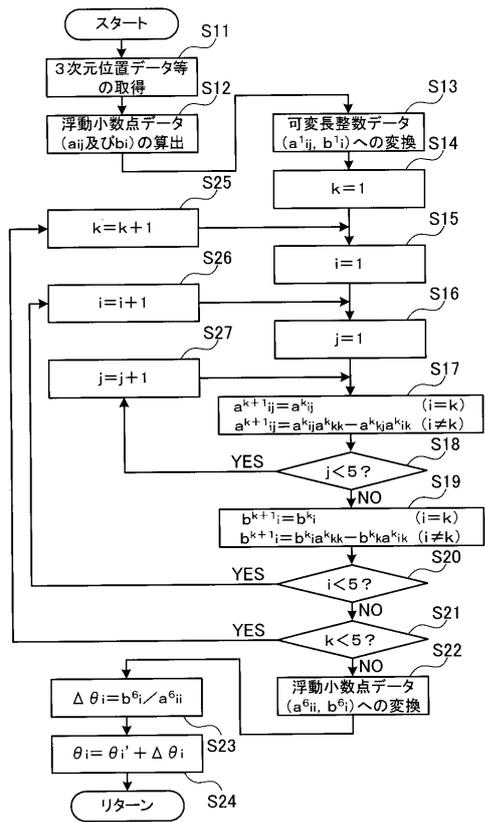
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-046931(JP,A)  
特開昭61-122707(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J	1/00	-	21/02
G05B	19/18	-	19/46
G05D	3/12		
G06F	7/76		
G06F	17/12		