

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-46931

(P2005-46931A)

(43) 公開日 平成17年2月24日(2005.2.24)

(51) Int. Cl.⁷

B 2 5 J 13/02
 B 2 5 J 3/00
 B 2 5 J 13/00
 B 2 5 J 19/06
 G 0 5 D 3/12

F I

B 2 5 J 13/02
 B 2 5 J 3/00 C
 B 2 5 J 13/00 Z
 B 2 5 J 19/06
 G 0 5 D 3/12 M

テーマコード(参考)

3 C 0 0 7
 5 H 3 0 3

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-204138(P2003-204138)
 (22) 出願日 平成15年7月30日(2003.7.30)

(71) 出願人 301022471
 独立行政法人情報通信研究機構
 東京都小金井市貫井北町4-2-1
 (74) 代理人 100085338
 弁理士 赤澤 一博
 (74) 代理人 100118245
 弁理士 井上 敬子
 (72) 発明者 荒川 佳樹
 東京都小金井市貫井北町4-2-1 独立
 行政法人通信総合研究所内
 Fターム(参考) 3C007 BS27 JT05 JT10 KS03 KS04
 KT02 KT04 KX06 LV19 LV24
 MS09

最終頁に続く

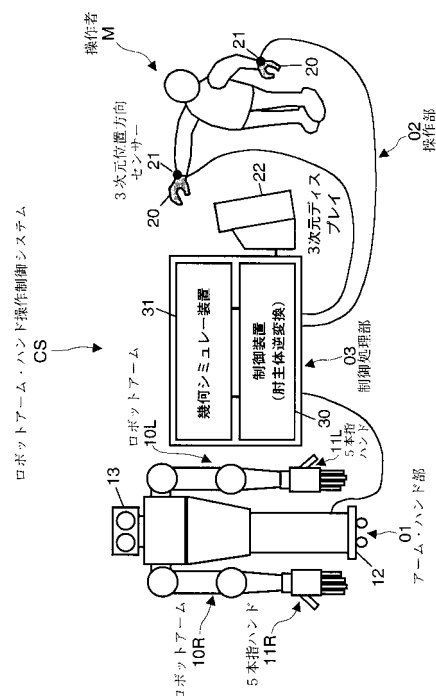
(54) 【発明の名称】 ロボットアーム・ハンド操作制御方法、ロボットアーム・ハンド操作制御システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ロボットアーム・ハンドの操作制御において、操作者M側に装着するセンサー20・21等の機器を極力少なくし、違和感をなくし、かつアーム10の各関節角度算出計算を簡便にする方法を実現する。そして、ロボットアーム・ハンド01のスムーズな制御および衝突回避制御を実現する。

【解決手段】以下の4手段を用いる。(1)操作者Mの前腕手首側に3次元位置方向センサー21を1個装着(2)このセンサーデータから、まずロボットアーム10の肘の位置を算出(3)この肘の位置およびセンサーデータから他のすべての関節角度を求めるこれにより、装着センサは1個のみとなり、かつアームの各関節角度算出も大幅に単純化され厳密解を求めることができる。また、ロボットアーム・ハンドのスムーズな制御、およびロボットアーム・ハンドの衝突回避制御を実現するために、(4)3次元幾何モデルを用いる。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボットアーム及びロボットハンドの操作のために少なくとも一部を操作者に装備させるアーム・ハンド操作部と、前記アーム・ハンド操作部に接続され前記ロボットアーム及び前記ロボットハンドの制御を行うための所定処理を行うアーム・ハンド制御処理部とを具備するロボットアーム・ハンド操作制御システムにおいて、前記ロボットアーム及び前記ロボットハンドの操作制御を行う方法であって、

前記アーム・ハンド操作部を構成し且つ操作者の前腕の所定位置に装着した 3 次元位置方向センサーを用いて、操作者の前腕の所定位置の 3 次元位置と方向とを検出する検出ステップと、

前記検出ステップで検知した 3 次元位置データと方向データとに基づき、まずロボットアームの肘の 3 次元位置を示す 3 次元位置データを算出する肘位置算出ステップと、

前記肘位置算出ステップで算出した 3 次元位置データおよび前記検出ステップで検知した 3 次元位置データと方向データから、ロボットアームの各関節の角度を算出する角度算出ステップとを有するロボットアーム・ハンド操作制御方法。

10

【請求項 2】

前記ロボットアームと前記ロボットハンドをモデリングした幾何モデル及び、前記角度算出ステップで算出されたロボットアームの各関節の角度情報から、その時点におけるロボットアーム・ハンドの形態を幾何モデルで再現する再現ステップと、前記再現ステップで再現した幾何モデルを用いてロボットアーム・ハンドのマス・プロパティおよび干渉チェック演算を行う演算ステップと、前記演算ステップで得た演算結果に基づき、ロボットアーム・ハンドを制御する制御ステップとを有する請求項 1 記載のロボットアーム・ハンド操作制御方法。

20

【請求項 3】

前記所定位置が、操作者の前腕の手首側であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のロボットアーム・ハンド操作制御方法。

【請求項 4】

ロボットアーム及びロボットハンドの操作のために少なくとも一部を操作者に装備させるアーム・ハンド操作部と、前記アーム・ハンド操作部に接続され前記ロボットアーム及び前記ロボットハンドの制御を行うための所定処理を行うアーム・ハンド制御処理部とを具備するロボットアーム・ハンド操作制御システムであって、

30

前記アーム・ハンド操作部を構成し且つ操作者の前腕の所定位置に装着した 3 次元位置方向センサーを用いて、操作者の前腕の所定位置の 3 次元位置と方向とを検出する検出手段と、

前記検出手段で検知した 3 次元位置データと方向データとに基づき、まずロボットアームの肘の 3 次元位置を示す 3 次元位置データを算出する肘位置算出手段と、

前記肘位置算出手段で算出した 3 次元位置データおよび前記検出手段で検知した 3 次元位置データと方向データから、ロボットアームの各関節の角度を算出する角度算出手段とを備えたロボットアーム・ハンド操作制御システム。

40

【請求項 5】

前記ロボットアームと前記ロボットハンドをモデリングした幾何モデル及び、前記角度算出手段で算出されたロボットアームの各関節の角度情報から、その時点におけるロボットアーム・ハンドの形態を幾何モデルで再現する再現手段と、前記再現手段で再現した幾何モデルを用いてロボットアーム・ハンドのマス・プロパティおよび干渉チェック演算を行う演算手段と、前記演算手段で得た演算結果に基づきロボットアーム・ハンドを制御する制御手段を備えたことを特徴とする請求項 4 記載のロボットアーム・ハンド操作制御システム。

【請求項 6】

前記所定位置が、操作者の前腕の手首側であることを特徴とする請求項 4 又は 5 記載のロボットアーム・ハンド操作制御システム。

50

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、ロボットアームおよびハンドの操作制御の方法およびそのシステムに関するものである。

【0002】**【従来の技術】**

従来のロボットアーム・ハンドの制御方法は、図7に示すように、主に以下の3つの方式が提案されている。

1 マスターアーム方式

図7(b)に示すように、制御されるスレーブアームSAと同じ軸構成等を持つマスターアーム25を操作する側に用意する。そして、マスターアーム25の関節角度等を直接検出し、この各関節角度データをスレーブアームSAに送ることにより、スレーブアームSAを制御する。これにより、スレーブアームSAは、マスターアーム25の動きを忠実に再現する(例えば、非特許文献1参照。)

2 モーションキャプチャー方式

図7(c)に示すように、操作者Mの腕と手の主要部(各関節)にセンサーを装着し、操作者Mの腕と手の関節の動きを検出する。すなわち、複数(多数)の3次元位置方向センサー26を用いて、操作者Mの腕と手の動きを精度よく検出する(例えば、非特許文献2参照。)

3 逆変換方式

図7(d)に示すように、操作者Mの手の甲等に付けた3次元位置方向センサー26(1カ所のみ)により3次元位置と方向等を検出し、このデータを用いて、アーム各関節の角度を求める(逆変換を行う)(例えば、非特許文献3参照。)

【0003】**【非特許文献1】**

人間型ロボットで産業車両の運転ができる可搬性遠隔操作システムを開発、[online]、平成14年3月18日、川崎重工業株式会社、[平成15年7月28日検索]、インターネット<URL: http://www.khi.co.jp/khi_news/2002data/c3020318-1.htm>

【非特許文献2】

新方式!!リアルタイムモーションキャプチャーシステム、[online]、平成13年9月17日、日商エレクトロニクス株式会社デバイス&テクノロジー営業統括部3Dシステムグループ、[平成15年7月28日検索]、インターネット<URL: <http://www.nisshele.co.jp/3d/MotionCapture/Reactor.htm>>

【非特許文献3】

計測自動制御学会編著、「生体とロボットにおける運動制御」、計測自動制御学会、1997年4月

【0004】**【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、1のマスターアーム方式では、操作者側にマスターアームが必要である。すなわち、制御されるスレーブアームとあわせて、2本のアームが必要であり、システムが重装備になる。2の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ー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。

【0005】

一方、3の逆変換方式では、操作者は手の甲等に、片腕に対して1個のセンサーのみを装着するだけである。従って、1および2と比べると、操作者にとって煩わしさがなく、装着感が少ない方式である。

【0006】

10

20

30

40

50

しかし、手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。

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逆変換は、非線形の連立方程式となり複雑な計算となる。また、厳密解を求めることは不可能であり、かつ解も複数解が存在し一意に決まらない。

【0007】

そこで、従来法では、この非線形連立方程式逆変換を、いろいろな工夫をして近似的に解いている。そのために、演算時間がかかり、また近似解のために制御精度が低下していた。

【0008】

そこで、本発明では、3の逆変換方式と同様に、装着するセンサーは1個で済み、かつ逆変換が非線形連立方程式とならない、単純かつ少ない演算量で済み厳密解が求まる方式を提案する。これにより、ロボットアーム・ハンドの高速かつスムーズな制御を実現する。さらに、本発明では、両腕ロボットアーム・ハンドの形態に追従した動的な制御および衝突回避制御を実現する。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明では、

(1) 操作者の前腕の手首側に3次元位置方向センサーを1個装着する、

(2) このセンサーデータから、まずアームの肘の位置を算出する、

(3) この肘の位置およびセンサーデータから他のすべての関節角度を求める、

の3つの手段を用いる。これにより、操作者は前腕（の所定位置たる手首側）に1個のセンサーを装着するだけで済み、かつ逆変換も非線形連立方程式とはならず、大幅に簡略化され厳密解を求めることができる。

【0010】

また、ロボットアーム・ハンドのスムーズな制御、およびロボットアーム・ハンドの衝突回避制御を実現するために、

(4) 3次元幾何モデルを用いる。

【0011】

すなわち、ロボットハンドとロボットアームを幾何モデリングし、この3次元幾何モデルを用いて、このマス・プロパティ（慣性モーメント等）を求める。そして、このマス・プロパティデータを利用して、ロボットアーム・ハンドの制御パラメータ等を動的に変化させて最適な制御を行う。これにより、アームおよびハンドをよりスムーズに高速に動作させることが可能となる。

【0012】

また、この3次元幾何モデルを用いて、アームおよびハンドの干渉チェック（干渉演算）を行い、衝突部位等を算出する。この干渉チェックデータ（衝突データ）を用いて、ロボットアーム・ハンドの衝突回避制御を行う。

【0013】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について、図を参照しながら説明する。

【0014】

本発明のロボットアーム・ハンド操作制御システムCSは、アーム・ハンド部01、アーム・ハンド操作部02（以下、操作部02と称する。）、アーム・ハンド制御処理部03（以下、制御処理部03と称する。）から構成される。

【0015】

操作者Mは、アーム・ハンド部01に設置された3次元カメラ13が撮影した画像を3次元ディスプレイ22において見ながら、手に装着した3次元操作グローブ（以下、3次元グローブと称する。）20を用いて、ロボットアーム・ハンド1を操作する。このロボットアーム・ハンド1は、操作者Mの腕と手の動きを忠実に再現する。

【0016】

10

20

30

40

50

なお、アーム・ハンド部 0 1 - 操作部 0 2 - 制御処理部 0 3 間において、各種データの送受信を行い得るようにしているが、この各種データの送受信は、図 1 に示すように有線方式で行うものであってもよいし、あるいは、無線方式で行うものであってもよい。

【 0 0 1 7 】

以下、各サブシステムに関して説明する。

(A) アーム・ハンド部

アーム・ハンド部 0 1 は、ロボットアーム・ハンド 1、胴体 1 2、そして 3 次元カメラ (ステレオカメラ) 1 3 から構成される。

【 0 0 1 8 】

さらに、前記ロボットアーム・ハンド 1 は、人の腕と同程度の大きさと同程度の自由度を待つ一対のロボットアーム 1 0 L、1 0 R と、前記ロボットアーム 1 0 L、1 0 R (以下、ロボットアーム 1 0 と総称する。)の先端部に設けられ且つ人の手と同程度の大きさと同程度の自由度をもつ触覚付きのロボットハンドたる 5 本指ハンド 1 1 L、1 1 R (以下、5 本指ハンド 1 1 と総称する。)とを備えてなる。なお、本実施形態では、ロボットアーム 1 0 を人の腕に模倣させ、5 本指ハンド 1 1 を人の手指に模倣させているが、例えば、5 本指ハンド 1 1 の指の数を増減させるなど、ロボットアーム 1 0 及び 5 本指ハンド 1 1 の態様は、適宜変更可能である。

【 0 0 1 9 】

5 本指ハンド 1 1 には触覚センサー (図示せず) を設けており、物をつかんだ時の触覚 (圧力) が操作部 0 2 の 3 次元グローブ 2 0 に伝えられる。また、本実施形態では、3 次元カメラ 1 3 が撮影した画像は操作部 0 2 の 3 次元ディスプレイ 2 2 に表示されるようにしている。なお、撮影した前記画像は、前記 3 次元ディスプレイ 2 2 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など、表示方法は、本実施形態に限られるものではない。

【 0 0 2 0 】

このように、アーム・ハンド部 0 1 は、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を持ち、両腕と両手の機能を実現している。

(B) 操作部

操作部 0 2 は、3 次元グローブ 2 0、3 次元位置方向センサー 2 1、そして 3 次元ディスプレイ 2 2 から構成される。

【 0 0 2 1 】

本システムでは、操作者 M が 3 次元グローブ 2 0 を用いて、ロボットアーム・ハンド 1 を操作する。3 次元グローブ 2 0 は操作者 M の手の甲および指の動き (関節角度) を検出する。この指の関節角度データは制御処理部 0 3 へ送られる。また、3 次元グローブ 2 0 には、フォースフィードバックシステムが付加されている。すなわち、5 本指ハンド 1 1 に装着された触覚センサーのデータに基づいて触覚圧力 (反力) を再現する。

【 0 0 2 2 】

また、所定位置たる前腕の手首側には、3 次元位置方向センサー 2 1 を設けている。この 3 次元グローブ 2 0 および 3 次元位置方向センサー 2 1 により得られたデータはすべて制御処理部 0 3 へ送られる。

【 0 0 2 3 】

本発明の特徴はこのように、操作者 M は、片腕・片手に対して 1 つの 3 次元グローブ 2 0 と 1 個の 3 次元位置方向センサー 2 1 とを装着するだけで、ロボットアーム・ハンド 1 を遠隔操作できることにある。

【 0 0 2 4 】

(C) 制御処理部

制御処理部 0 3 は、制御装置 3 0 および幾何シミュレータ装置 3 1 から構成される。

【 0 0 2 5 】

まず、制御装置 3 0 について説明する。

【 0 0 2 6 】

制御装置 30 は、一般的な情報処理機能を具備したもので、図 2 に示すように、CPU 101、内部メモリ 102、HDD 等の外部記憶装置 103、マウスやキーボードなどの入力手段 104、CRT や液晶ディスプレイなどの表示手段 105、前記アーム・ハンド部 01 及び前記操作部 02 と前記幾何シミュレータ装置 31 と通信するための通信手段 106 等を主な構成要素とする。

【0027】

そして本実施形態では、この制御装置 30 は、その内部メモリ 102 等に記憶させたプログラムにしたがって前記 CPU 101 や周辺機器を作動し、図 3 に示すように、検出手段 30a、肘位置算出手段 30b、角度算出手段 30c、制御手段 30e、第 1 送受信手段 30d などとしての機能を発揮するようにしている。

10

【0028】

以下、各部を詳述する。

【0029】

検出手段 30a は、操作者 M の前腕の手首側に装着した 3 次元位置方向センサー 21 を用いて、その操作者 M の前腕の手首側の 3 次元位置と方向とを検出するものである。

【0030】

肘位置算出手段 30b は、前記検出手段 30a で検知した 3 次元位置データと方向データとに基づき、まずロボットアームの肘の 3 次元位置を示す 3 次元位置データを算出するものである。

【0031】

角度算出手段 30c は、前記肘位置算出手段 30b で算出した 3 次元位置データおよび前記検出手段 30a で検知した 3 次元位置データと方向データから、ロボットアーム 10 の各関節の角度を算出するものである。

20

【0032】

なお、ロボットアーム 10 の場合は、操作者 M の前腕の手首側に装着した 3 次元位置方向センサー 21 からその位置と方向データが得られるだけである。そこで、操作者 M のこの手首の位置と方向データから、ロボットアーム 10 の各関節の角度を計算する必要がある。この計算を「逆変換」と呼ぶ。一方、ロボットアーム 10 の各関節角度からロボットアーム 10 の先端の位置および方向を計算することを「順変換」と呼ぶ。

【0033】

従来技術では、手の甲等に 3 次元位置方向センサーを装着している。そこで、人の腕のように高い自由度（6 自由度以上）を持つ場合は、逆変換が必要不可欠となる。そして、高い自由度のアームの逆変換は、通常非線形連立方程式となり、厳密解を求めることが不可能な場合が多い。また、解が求まったとしても複数解が存在し、一意に決まらない場合が普通である。さらに、解が不定となる特異点が存在する。

30

【0034】

本発明では、前腕の手首側に 3 次元位置方向センサー 21 を装着すること、および逆変換の計算方式を根本から見直すことにより、この課題を解決し、逆変換計算を大幅に簡略化・単純化している。

【0035】

ここで、本発明の実施例におけるロボットアーム 10R の軸関節構成を図 4 に示す。ロボットアーム 10R の上腕の長さを e_1 、前腕の長さを e_2 とする。そして、グローバル座標系の原点をロボットアーム 10R の右肩（第 1 関節）に、グローバル座標系の X 座標軸を胴体の正面方向に床と平行に、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 座標軸を床から天井への垂直方向にとる。

40

【0036】

前腕の手首側に装着した 3 次元位置方向センサー 21 が示すグローバル座標に対する変換行列を H_{0s} とすると下式（数 1）のように表現することができる。

【0037】

【数 1】

50

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

【 0 0 3 8 】

10

ここで、図5に示すように、3次元位置方向センサー21の位置は P_s (x_s 、 y_s 、 z_s)、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ー21から取得され既知である。

【 0 0 3 9 】

また、 H_{0s} のこれらの各要素は、ロボットアーム10Rの軸の長さと同関節角度を用いて、下式(数2)のように表現される。

【 0 0 4 0 】

【 数 2 】

20

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

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

30

$$\begin{aligned} u_{zs} &= C_1 C_3 S_4 + S_1 S_2 S_3 S_4 + S_1 C_2 C_4 \\ v_{zs} &= C_2 S_3 S_4 - S_2 C_4 \\ w_{zs} &= -S_1 C_3 S_4 + C_1 S_2 S_3 S_4 + C_1 C_2 C_4 \end{aligned}$$

40

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

【 0 0 4 1 】

ここで、 $C_n = \cos(\theta_n)$ 、 $S_n = \sin(\theta_n)$

50

以上から、ロボットアーム 10R の第 4 関節 (肘) の位置 P_4 (x_4 、 y_4 、 z_4) は、
下式 (数 3) により求めることができる。

【0042】

【数 3】

$$\begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{xs} & u_{ys} & u_{zs} & x_s \\ v_{xs} & v_{ys} & v_{zs} & y_s \\ w_{xs} & w_{ys} & w_{zs} & z_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ e_2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{zs}e_2 + x_s \\ v_{zs}e_2 + y_s \\ w_{zs}e_2 + z_s \\ 1 \end{pmatrix} \quad 10$$

【0043】

また、第 4 関節のグローバル座標に関する変換行列 H_{04} は下式 (数 4) となる。

【0044】

【数 4】

$$H_{04} = \begin{pmatrix} C_1 & S_1S_2 & S_1C_2 & -S_1C_2e_1 \\ 0 & C_2 & -S_2 & S_2e_1 \\ -S_1 & C_1S_2 & C_1C_2 & -C_1C_2e_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad 20$$

【0045】

そこで、式 (数 3) と式 (数 4) より、式 (数 5) が成り立つ。すなわち、ロボットアーム 10R の肘の位置 P_4 から、ロボットアーム 10R の肩の 2 つの関節角度 θ_1 、 θ_2 を
下式 (数 5) により求めることができる。 30

【0046】

【数 5】

$$\begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -S_1C_2e_1 \\ S_2e_1 \\ -C_1C_2e_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin(\theta_1)\cos(\theta_2)e_1 \\ \sin(\theta_2)e_1 \\ -\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)e_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad 40$$

【0047】

これを解くと下式 (数 6) となる。

【0048】

【数 6】

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{x_4}{z_4}\right), \quad \theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{y_4}{e_1}\right)$$

【 0 0 4 9 】

肩の位置（グローバル座標原点）、ロボットアーム 1 0 R の肘の位置 P_4 、およびロボットアーム 1 0 R の前腕の手首側（アームの先端）の位置（3次元位置方向センサー 2 1 の位置） P_5 が形成する 3 角形に、余弦定理を適用することにより下式（数 7）が成立する。

10

【 0 0 5 0 】

【 数 7 】

$$x_s^2 + y_s^2 + z_s^2 = e_1^2 + e_2^2 - 2e_1e_2 \cos(\theta_4)$$

【 0 0 5 1 】

よって、第 4 関節角度 θ_4 は下式（数 8）により求めることができる。

【 0 0 5 2 】

【 数 8 】

$$\theta_4 = \cos^{-1}\left(\frac{e_1^2 + e_2^2 - x_s^2 - y_s^2 - z_s^2}{2e_1e_2}\right)$$

20

【 0 0 5 3 】

以上により、 θ_1 、 θ_2 、 θ_4 が求まった。これらの値を式（数 2）に代入することにより、式（数 9）のように表現することができる。すなわち、第 3 関節の角度 θ_3 は、下式（数 9）により求めることができる。

【 0 0 5 4 】

【 数 9 】

$$\begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} \cos(\theta_3) + a_{12} \sin(\theta_3) + a_{13} \\ a_{21} \sin(\theta_3) + a_{22} \\ a_{31} \cos(\theta_3) + a_{32} \sin(\theta_3) + a_{33} \\ 1 \end{pmatrix}$$

30

【 0 0 5 5 】

従って、 θ_3 は下式（数 10）となる。

40

【 0 0 5 6 】

【 数 10 】

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left(\frac{y_s - a_{22}}{a_{21}} \right)$$

10

【 0 0 5 7 】

また、式 (数 2) は下式 (数 1 1) のように変形できる。

【 0 0 5 8 】

【 数 1 1 】

$$u_{xs} = (C_1 C_3 C_4 + S_1 S_2 S_3 C_4 - S_1 C_2 S_4) C_5 + (-C_1 S_3 + S_1 S_2 C_3) S_5$$

$$v_{xs} = (C_2 S_3 C_4 + S_2 S_4) C_5 + C_2 C_3 S_5$$

$$w_{xs} = (-S_1 C_3 C_4 + C_1 S_2 S_3 C_4 - C_1 C_2 S_4) C_5 + (S_1 S_3 + C_1 S_2 C_3) S_5$$

20

【 0 0 5 9 】

これまでに求められた θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 を、式 (数 1 1) に代入すると、下式 (数 1 2) のように表現することができる。

【 0 0 6 0 】

【 数 1 2 】

$$u_{xs} = b_{11} \cos(\theta_5) + b_{12} \sin(\theta_5)$$

$$v_{xs} = b_{21} \cos(\theta_5) + b_{22} \sin(\theta_5)$$

$$w_{xs} = b_{31} \cos(\theta_5) + b_{32} \sin(\theta_5)$$

30

【 0 0 6 1 】

式 (数 1 2) を解くことにより、 θ_5 は下式 (数 1 3) となる。

【 0 0 6 2 】

【 数 1 3 】

$$\theta_5 = \cos^{-1} \left(\frac{u_{xs} b_{22} - v_{xs} b_{12}}{b_{11} b_{22} - b_{12} b_{21}} \right)$$

40

【 0 0 6 3 】

最後に、手首の角度 θ_6 は、3次元グローブ 20 により直接取得することができる。以上 50

が、本発明における「逆変換方式」である。

【0064】

第1送受信手段30dは、幾何シミュレータ装置31と所定データの送受信を行うものであって、前記通信手段106等を利用して構成している。

【0065】

制御手段30eは、前記第1送受信手段で受信する後述する幾何シミュレータ装置31の演算手段31dで得た演算結果に基づきロボットアーム・ハンド1を制御するものである。

【0066】

次に、幾何シミュレータ装置31について説明する。

10

【0067】

幾何シミュレータ装置31は、一般的な情報処理機能を具備したもので、図6に示すように、CPU201、内部メモリ202、HDD等の外部記憶装置203、マウスやキーボードなどの入力手段204、CRTや液晶ディスプレイなどの表示手段205、前記制御装置30と通信するための通信手段206等を主な構成要素とする。

【0068】

そして本実施形態では、この幾何シミュレータ装置31は、その内部メモリ202等に記憶させたプログラムにしたがって前記CPU201や周辺機器を作動し、図3に示すように、第2送受信手段31a、幾何モデル格納手段31b、再現手段31c、演算手段31dなどとしての機能を発揮するようにしている。

20

【0069】

以下、各部を詳述する。

【0070】

第2送受信手段31aは、制御装置30と所定データの送受信を行うものであって、前記通信手段206などを利用して構成している。

【0071】

前記幾何モデル格納手段31bは、前記ロボットアーム10と前記ロボットハンド11をモデリングした幾何モデルを格納するものであって、前記内部メモリ202や前記外部記憶装置203の所定領域に形成してなる。

【0072】

再現手段31cは、前記幾何モデル格納手段31bに格納している幾何モデル及び、前記第2送受信手段31aで受信したロボットアーム10の各関節の角度情報から、その時点におけるロボットアーム・ハンド1の形態を幾何モデルで再現するものである。

30

【0073】

演算手段31dは、再現手段31cで再現した幾何モデルを用いてロボットアーム・ハンド1のマス・プロパティ（慣性モーメント等）および干渉チェック演算を行うものである。

【0074】

次に、本実施形態のロボットアーム・ハンド操作制御システムCSの動作について説明する。

40

【0075】

制御装置30では、手に装着した3次元グローブ20、および前腕の手首側に装着した3次元位置方向センサー21からの情報を検出すると（検出ステップ）、この情報をもとに、まず、ロボットアーム10の肘の3次元位置を示す3次元位置データを算出する（肘位置算出ステップ）。そして、肘位置算出ステップで求めた肘の3次元位置を示す3次元位置データと検出ステップで検出した3次元位置データと方向データとから、ロボットアーム10および5本指ハンド11の各関節角度を算出する（角度算出ステップ）。5本指ハンド11に関しては、手に装着した3次元グローブ20が手の甲の曲がり（手首の）角度および指の関節角度を検出する。これらの角度データは幾何シミュレータ装置31へ送られる。

50

【0076】

次に、幾何シミュレータ装置31では、制御装置30において逆変換により算出されたロボットアーム10各関節の角度データ、および5本指ハンド11の指の角度データから、その時点におけるロボットアーム・ハンド1の形態を幾何モデルで再現する（再現ステップ）。そして、マス・プロパティ（慣性モーメント等）をリアルタイムで算出し（演算ステップ）、制御装置30へ送る。

【0077】

制御装置30では、このマス・プロパティデータを利用して、制御パラメータ等を動的に変化させて最適な制御を行う（制御ステップ）。これにより、ロボットアーム10および5本指ハンド11をよりスムーズに高速に動作させることが可能となる。

10

【0078】

また、幾何シミュレータ装置31は、ロボットアーム10およびハンドの干渉チェック（干渉演算）を行う（演算ステップ）。すなわち、ロボットアーム10Lとロボットアーム10R、ロボットアーム10と5本指ハンド11、そして5本指ハンド11Lと5本指ハンド11Rとの干渉チェックを行い、衝突部位等を算出する。

【0079】

この干渉チェック結果データ（衝突データ）も演算結果として、制御装置30に送られる。そして、演算結果が衝突することを示す場合は、制御装置30において、ロボットアーム・ハンド1の動作停止等の衝突回避制御が行われる（制御ステップ）。

【0080】

この幾何モデリング処理において、特許第3018151「3次元図形データの演算処理方法及びその装置」を適用することにより、干渉チェック（形状演算）をより高効率・高速かつ高信頼に実行することができる。ロボット制御ではリアルタイムでの（高速な）干渉チェック演算が要求されるので、この点は大変重要である。

20

【0081】

以上に詳述したように、本実施形態のロボットアーム・ハンド操作制御システムCSでは、操作者Mは、片腕・片手に対して1つの3次元グローブ20と1個の3次元位置方向センサー21を前腕の手首側に装着するだけで済むので、操作者にとって煩わしさがなく、装着感が少ないものとすることができる。

【0082】

また、3次元位置方向センサー21で検知するデータから、まずロボットアーム10の肘の位置を算出する。これにより、逆変換計算が大幅に簡略化・単純化される。すなわち、厳密解を演算量の少ない簡単な式により求めることができ、解が一意に決まる。従って、逆変換演算が大幅に高速化・高精度化され、ロボットアーム・ハンド1の制御をより高速かつスムーズにすることができる。

30

【0083】

さらに、幾何シミュレーションにより、ロボットアーム10および5本指ハンド11の動的な形態制御および衝突回避制御を実現している。これにより、ロボットアーム10および5本指ハンド11が衝突することがなくなり、衝突による損失を回避することができる。

40

【0084】

なお、この幾何モデリング処理において、特許第3018151「3次元図形データの演算処理方法及びその装置」を適用すれば、干渉チェック（形状演算）をより高効率・高速かつ高信頼に実行することもできる。

【0085】

なお、本実施形態では、制御装置30と幾何シミュレータ装置31とを物理的に別体に構成しているが、これらを一体的に構成してもよい。また、3次元ディスプレイ22を、前記制御装置30または幾何シミュレータ装置31に備えた表示手段105または205と兼用するように構成しても構わない。

【0086】

50

なお、各部の具体的な構成は、上述した実施形態のみに限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形が可能である。

【0087】

【発明の効果】

以上に詳述した本発明によれば、以下の効果を得られる。

(1) 操作者Mは、片腕・片手に対して1つの3次元グローブと1個の3次元位置方向センサーを前腕の手首側に装着するだけで済む。装着感・違和感の少ない方式を実現できる。

(2) このセンサーデータから、まずロボットアームの肘の位置を算出する。これにより、逆変換計算が大幅に簡略化・単純化される。すなわち、厳密解を演算量の少ない簡単な式により求めることができ、解が一意に決まる。従って、逆変換演算が大幅に高速化・高精度化され、ロボットアーム・ハンド制御がより高速かつスムーズとなる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態における全体システム構成図。

【図2】本発明の実施形態における制御装置の機器構成図。

【図3】本発明の実施形態における制御装置および幾何シミュレータ装置の機能構成図。

【図4】同実施形態における右アームの関節・軸構成図。

【図5】同実施形態における右アーム座標説明図。

【図6】本発明の実施形態における幾何シミュレータ装置の機器構成図。

【図7】従来技術の説明図。

20

【符号の説明】

02・・・アーム・ハンド操作部（操作部）

03・・・アーム・ハンド制御処理部（制御処理部）

10（10L、10R）・・・ロボットアーム

11（11L、11R）・・・ロボットハンド（5本指ハンド）

21・・・3次元位置方向センサー

30a・・・検出手段

30b・・・肘位置算出手段

30c・・・角度算出手段

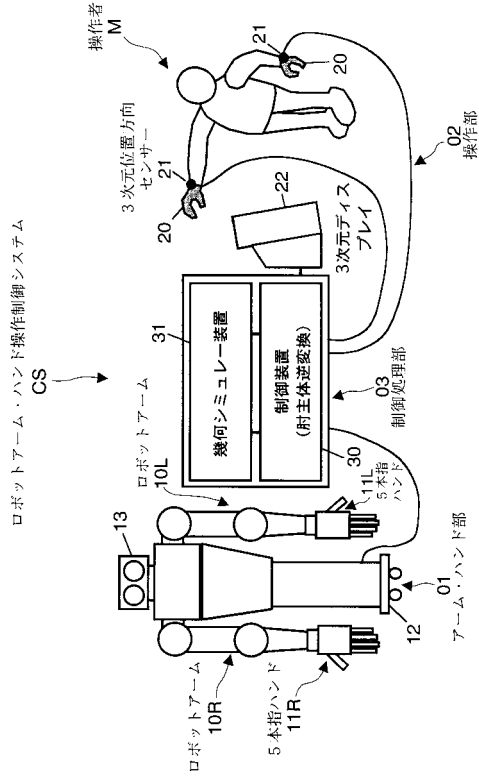
30e・・・制御手段

CS・・・ロボットアーム・ハンド操作制御システム

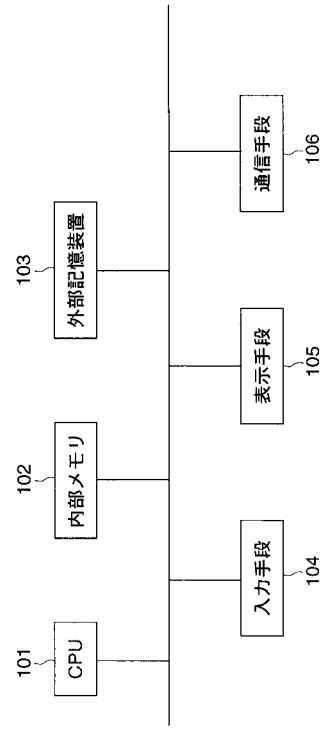
M・・・操作者

30

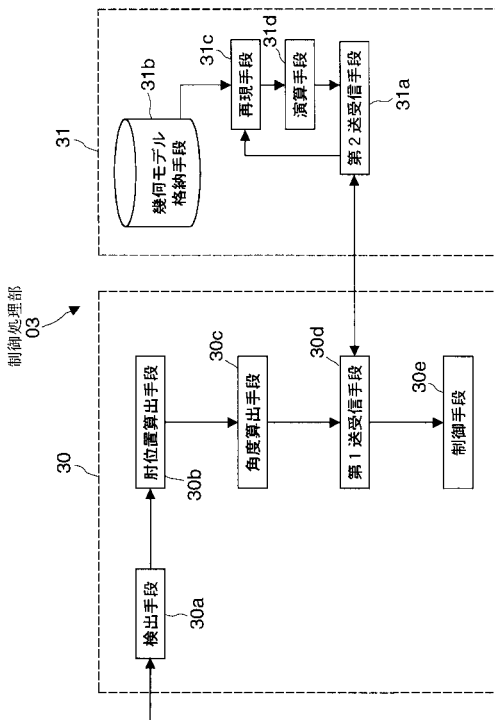
【 図 1 】



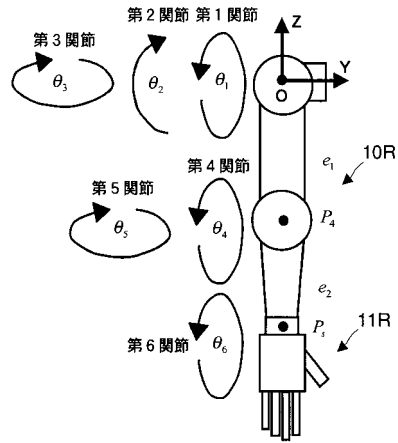
【 図 2 】



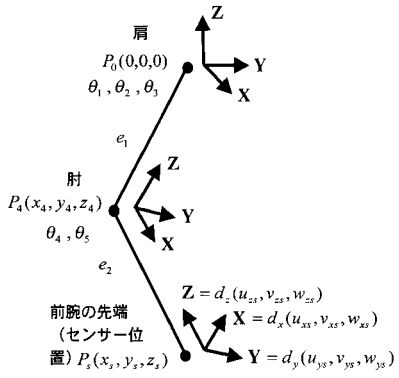
【 図 3 】



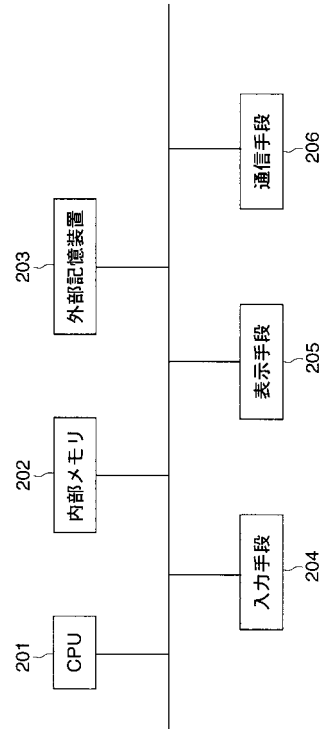
【 図 4 】



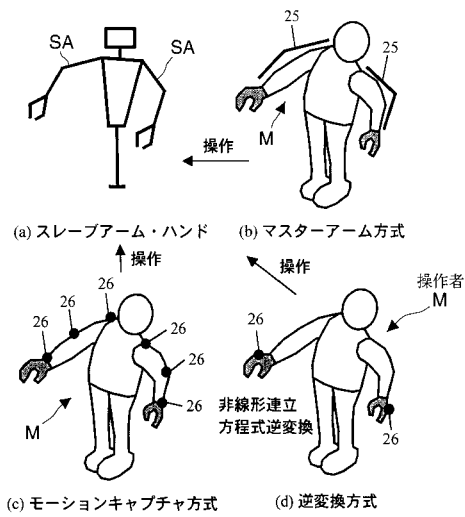
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

F I

テーマコード(参考)

G 0 5 D 3/12 3 0 5 V

Fターム(参考) 5H303 AA10 BB03 BB09 BB15 CC10 DD01 EE01 EE03 EE07 EE09
FF11 GG14 HH05 HH07 JJ05 KK22 KK35 LL03 MM08