

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4418905号
(P4418905)

(45) 発行日 平成22年2月24日(2010.2.24)

(24) 登録日 平成21年12月11日(2009.12.11)

(51) Int. Cl.	F I				
G05D 1/08	(2006.01)	G05D 1/08	Z		
B25J 5/00	(2006.01)	B25J 5/00	A		

請求項の数 2 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-121341 (P2007-121341)	(73) 特許権者	393031586
(22) 出願日	平成19年5月2日(2007.5.2)		株式会社国際電気通信基礎技術研究所
(62) 分割の表示	特願2002-73745 (P2002-73745) の分割	(74) 代理人	100090181 弁理士 山田 義人
原出願日	平成14年3月18日(2002.3.18)	(72) 発明者	今井 倫太
(65) 公開番号	特開2007-280408 (P2007-280408A)		京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(43) 公開日	平成19年10月25日(2007.10.25)	(72) 発明者	株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
審査請求日	平成19年5月28日(2007.5.28)	(72) 発明者	宮下 敬宏
	(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	(72) 発明者	京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
	特許権者において、実施許諾の用意がある。	(72) 発明者	株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
			石黒 浩
			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
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コミュニケーションロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の軸を持つ上半身機構を台車上に載置し、前記台車に設けられる実質的に1本の車軸、前記車軸上に間隔を隔てて設けられる2つの車輪、および前記車輪を回転する車輪モータを備えるコミュニケーションロボットにおいて、重心位置を観測しない場合の制御方法であって、

前記上半身機構の重力方向に対する倒れ角速度を検出する倒れ角速度検出ステップ、
前記車輪の回転角速度を検出する回転角速度検出ステップ、
前記倒れ角速度および前記回転角速度に基づいて前記倒れ角の推定値を計算する推定値計算ステップ、

前記推定値および前記倒れ角速度ならびに前記回転角速度に従って前記車輪に与えるトルクを計算するトルク計算ステップ、および

前記車輪に前記計算したトルクが与えられるように前記車輪モータを制御する車輪モータ制御ステップを含む、コミュニケーションロボットの制御方法。

【請求項2】

複数の軸を持つ上半身機構を台車上に載置し、前記台車に設けられる実質的に1本の車軸、前記車軸上に間隔を隔てて設けられる2つの車輪、および前記車輪を回転する車輪モータを備えるコミュニケーションロボットにおいて、重心位置を観測しない場合の制御装置であって、

前記上半身機構の前記重力方向に対する倒れ角速度を検出する倒れ角速度検出手段、

前記車輪の回転角速度を検出する回転角速度検出手段、
前記倒れ角速度および前記回転角速度に基づいて前記倒れ角の推定値を計算する推定値
計算手段、

前記推定値および前記倒れ角速度ならびに前記回転角速度に従って前記車輪に与えるトルクを計算するトルク計算手段、および

前記車輪に前記計算したトルクが与えられるように前記車輪モータを制御する車輪モータ制御手段を備える、コミュニケーションロボットの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、コミュニケーションロボットに関し、特にたとえば、移動台車上に載置された人型上半身機構を有するコミュニケーションロボットに関する。

【背景技術】

【0002】

この種の従来ロボットでは、3つ以上の車輪をバランスよく配置することによって、その台車すなわち上半身機構が倒れるのを防止している。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、従来ロボットのこのような車輪の配置による支持には限界があり、上半身の動きや、あるいは強い力で押された衝撃によって倒れてしまう危険がある。この問題は、コミュニケーションロボットがコミュニケーションする対象が特に幼児や小児の場合には、重大な結果を惹起するおそれがある。

【0004】

それゆえに、この発明の主たる目的は、転倒を防止できる、コミュニケーションロボットを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

第1の発明に従ったコミュニケーションロボットの制御方法は、複数の軸を持つ上半身機構を台車上に載置し、台車に設けられる実質的に1本の車軸、車軸上に間隔を隔てて設けられる2つの車輪、および車輪を回転する車輪モータを備えるコミュニケーションロボットにおいて、重心位置を観測しない場合の制御方法であって、上半身機構の重力方向に対する倒れ角速度を検出する倒れ角速度検出ステップ、車輪の回転角速度を検出する回転角速度検出ステップ、倒れ角速度および回転角速度に基づいて倒れ角の推定値を計算する推定値計算ステップ、推定値および倒れ角速度ならびに回転角速度に従って車輪に与えるトルクを計算するトルク計算ステップ、および車輪に計算したトルクが与えられるように車輪モータを制御する車輪モータ制御ステップを含む、コミュニケーションロボットの制御方法である。

【0011】

第2の発明に従ったコミュニケーションロボットの制御装置は、複数の軸を持つ上半身機構を台車上に載置し、台車に設けられる実質的に1本の車軸、車軸上に間隔を隔てて設けられる2つの車輪、および車輪を回転する車輪モータを備えるコミュニケーションロボットにおいて、重心位置を観測しない場合の制御装置であって、上半身機構の重力方向に対する倒れ角速度を検出する倒れ角速度検出手段、車輪の回転角速度を検出する回転角速度検出手段、倒れ角速度および回転角速度に基づいて倒れ角の推定値を計算する推定値計算手段、推定値および倒れ角速度ならびに回転角速度に従って車輪に与えるトルクを計算するトルク計算手段、および車輪に計算したトルクが与えられるように車輪モータを制御する車輪モータ制御手段を備える、コミュニケーションロボットの制御装置である。

【0012】

第1の発明に従ったコミュニケーションロボットの制御方法では、このコミュニケーションシ

10

20

30

40

50

ョンロボットの重心を観測(計算)しない場合、推定ステップで、同軸2輪倒立振子の運動方程式に従って、たとえば上半身機構の重力方向に対する倒れ角速度に基づいて倒立振子の重心と車軸とを結ぶ直線と鉛直線とのなす角度を推定する。そして、この推定値(角度)と上記倒れ角速度と車輪の回転角速度とが状態変数となり、この状態変数に基づいて、トルク計算ステップで車輪に与えるトルクを計算し、車輪モータ制御ステップでは、車輪に計算したトルクが与えられるように車輪モータを制御する。

【0014】

第2の発明に従ったコミュニケーションロボットの制御装置では、このコミュニケーションロボットの重心を観測(計算)しない場合、推定手段で、同軸2輪倒立振子の運動方程式に従って、たとえば上半身機構の重力方向に対する倒れ角速度に基づいて倒立振子の重心と車軸とを結ぶ直線と鉛直線とのなす角度を推定する。そして、この推定値(角度)と上記倒れ角速度と車輪の回転角速度とが状態変数となり、この状態変数に基づいて、トルク計算手段が車輪に与えるトルクを計算し、車輪モータ制御手段は、車輪に計算したトルクが与えられるように車輪モータを制御する。

10

【発明の効果】

【0015】

この発明によれば、同軸2輪で支持した台車を用いることによって、コミュニケーションロボットの転倒が防止できる。

【0017】

この発明の上述の目的、その他の目的、特徴および利点は、図面を参照して行う以下の実施例の詳細な説明から一層明らかとなる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

図1および図2を参照して、この発明の一実施例のコミュニケーションロボット(以下、単に「ロボット」ということがある。)10は、台車12を含み、この台車12上に、人型の上半身機構14が載置される。このロボット10は、全体として、台車12の移動に応じて自律移動する。

【0019】

台車12の下部には、図1で点線で示すように、車軸16が内蔵され、車軸16の左右端にはそれぞれ車輪18aおよび18bが回転可能に取付られる。この車輪18aおよび18bは、それぞれ、図6に示す直流モータによって構成される車輪モータ80によって個別に回転駆動される。したがって、台車12すなわちロボット10を前後左右任意の方向に動かすことができる。ただし、図6では、簡単化のために、1つの車輪モータ80のみを図示している。また、図1実施例では、1本の車軸16に2つの車輪18aおよび18b(まとめて「18」で示すことがある。)が取り付けられているが、左右の車輪18aおよび18bを、一直線に整列させた2本の車軸にそれぞれ取り付けるとしてもよい。

30

【0020】

台車12の上部外面には、多角形柱のセンサ取付パネル20が設けられ、このセンサ取付パネル20の各面には、それぞれ超音波距離センサ22が取り付けられる。この超音波距離センサ22は、取付パネル20すなわちロボット10の周囲の主として人との間の距離を計測するものである。ただし、後述の図6では、複数の超音波距離センサを参照符号「22」で包括的に示す。

40

【0021】

なお、図示しないが、この台車12の前面には、衝突センサ(図6において、参照番号「94」で示す。)が取り付けられ、この衝突センサ94(図6)は、台車12への人や他の障害物の接触を検知する。そして、ロボット10の移動中に障害物や人との接触を検知すると、図6に示すCPU66は、直ちに車輪18aおよび18bの駆動を停止し、ロボット10の移動を急停止させて、人や障害物との衝突を未然に防ぐようになっている。

【0022】

50

なお、ロボット10の背の高さは、この実施例では、人、特に子供に威圧感をあたえることがないように、100cm程度とされている。ただし、この背の高さは任意に変更可能である。

【0023】

台車12の上には、ベース24によって、上述の上半身機構14が取り付けられる。この上半身機構14のベース24は人間の身体に対応させれば、脚の上端あたりの部位に相当し、このベース24の上には、人間の身体では臀部に相当する腰支持部26が固着される。

【0024】

腰支持部26の上には、3自由度の腰関節28を介して、胴体部30が連結される。胴体部30は、図3を参照して後に説明するようにパラレルリンクを構成し、したがって、腰支持部26と胸部32とがパラレルリンクによって連結される。

【0025】

胸部32の上端前方には、人間でいえば肩に相当する、左右の腕取付面38aおよび38bが形成される。そして、腕取付面38aおよび38bには、それぞれ、肩関節40aおよび40bによって、上腕42aおよび42bが取り付けられる。肩関節40aおよび40bは、それぞれ3軸の自由度を有する。上腕42aおよび42bのそれぞれの先端には、肘関節44aおよび44bを介して、前腕46aおよび46bが取り付けられる。肘関節44aおよび44bは、それぞれ、2つの軸廻りにおいて、前腕46aおよび46bの角度を制御できる。さらに、前腕46aおよび46bのそれぞれの自由端には、手部分48aおよび48bが自由度なしに固定的に設けられる。この手部分48aおよび48bには、それぞれ、1本の指（人差し指に相当する）50aおよび50bが、折り畳みかつ伸張可能に設けられる。したがって、この指50aおよび50bを使った指差し動作により、目的地を示す、注意を喚起する等のコミュニケーションをとることができる。

【0026】

なお、図示しないが、胸部32の肩関節40aおよび40bを含む肩の部分や上述の上腕42aおよび42bならびに前腕46aおよび46bには、それぞれ、タッチセンサが設けられていて、これらのタッチセンサは、人がロボット10のこれらの部位に接触したかどうかを検知する。これらのタッチセンサも図6において参照番号92で包括的に示す。

【0027】

胸部32の中央上方には、首関節（図示せず）を介して、頭部52が取り付けられる。この首関節は、3つの自由度を有し、各軸廻りに角度制御可能である。頭部52には、目に相当する位置に眼カメラ54が設けられる。つまり、このロボット10では、人間と同様に、頭部52を上下左右に振ることができるとともに、眼カメラ54も人間の眼球運動と同じく上下左右に動かせる。なお、眼カメラ54は、ロボット10に接近した人の顔や他の部分を撮影してその映像信号を取り込む。そして、眼カメラ54は、たとえばCCDやCMOSのように個体撮像素子を用いるカメラであってよい。

【0028】

ここで、図3を参照して、胴体部30で構成するパラレルリンクについて詳細に説明する。腰支持部26内には軸56によって回転可能に支持された円板58が設けられ、他方、胸部32内には軸60によって回転可能に支持された円板62が設けられる。この円板58の中心と円板62の中心とが胴体部30によって連結され、第1のリンクが形成される。つまり、胴体部30は、たとえば中空筒状体であり、その内壁によって第1円板58の中心と第2円板の中心とを、それぞれの円板が回転または回動できるように支持する。つまり、胴体部30が第1連結部材として機能する。また、円板58上の点58aと円板62上の点62aとの間に、第2連結部材として機能するロッド64が連結される。つまり、円板58および62とロッド64とによって第2のリンクが形成される。第1のリンクと第2のリンクとがパラレルリンクを構成し、したがって、腰支持部26と胸部32とがパラレルリンクを介して連結されることになる。

【 0 0 2 9 】

そして、円板 5 8 すなわち軸 5 6 は、腰モータ 8 4 (図 6) に連結され、それによって矢印 A または B 方向に回転ないし回動される。そして、円板 5 8 が矢印 A または B 方向へ回転すると、その回転がロッド 6 4 によって円板 6 2 へ伝達され、したがって、円板 6 2 が矢印 C または D 方向へ回転ないし回動される。胸部 3 2 はこの円板 6 2 に固着されている。したがって、円板 6 2 が上述のように矢印 C または D 方向に回転ないし回動すると、胸部 3 2 はその回転または回動につれて、上に向きまたは下に向く。

【 0 0 3 0 】

つまり、この実施例では、ロボット 1 0 の機構の単純化と低重心化を図るために、腰モータ 8 4 によって、腰関節 2 8 だけでなく、パラレルリンクを介して胸部 3 2 も動かすようにしている。したがって、この実施例では、図 4 に示すように、腰をかがめると胸部 3 2 も下を向き、逆に図 5 に示すように腰を伸ばすと胸部も上を向くという、人間の自然な動作に近い動作を実現することができる。

10

【 0 0 3 1 】

なお、上述のパラレルリンクにおいては 2 つの構造があり、一方は、2 つのリンク (連結部材) が交差する構造であり、他方は、2 つのリンクが交差しない構造である。図 4 および図 5 は前者の構造の場合を示している。そして、後者の構造の場合には、腰を曲げて伸ばしても胸部の向きに大きな変化を生じない。実施例では前者を用いたが、後者を用いてもよいことは勿論である。

【 0 0 3 2 】

なお、上で述べたように、腰関節 2 8 は 2 自由度であり、そのうちの 1 つの軸が腰モータ 8 4 によって制御される軸 5 8 であり、他の軸は、いずれも図示しないが、腰支持部 2 6 を水平面内で回転させる垂直軸である。

20

【 0 0 3 3 】

図 1 に示すロボット 1 0 の制御系の構成が図 6 のブロック図に示される。図 6 に示すように、このロボット 1 0 は、全体の制御のためにマイクロコンピュータまたは CPU 6 6 を含み、この CPU 6 6 には、バス 6 8 を通して、メモリ 7 0 , モータ制御ボード 7 2 およびセンサ入力 / 出力ボード 7 4 が接続される。

【 0 0 3 4 】

メモリ 7 0 は、図示しないが、ROM や RAM を含み、ROM にはこのロボット 1 0 の制御プログラムが予め書き込まれているとともに、スピーカ (図示せず) から発生すべき音声または声の音声データが格納されている。RAM は、一時記憶メモリとして用いられるとともに、ワーキングメモリとして利用され得る。

30

【 0 0 3 5 】

モータ制御ボード 7 2 は、たとえば DSP (Digital Signal Processor) で構成され、電磁ブレーキ 7 8 や他のモータ 8 0 , 8 4 , 8 6 および 8 8 を制御する。電磁ブレーキ 7 8 は、上記腰関節 2 8 (3 自由度) に設けられていて、電源をオフすると各軸の関節をそのときの状態 (姿勢) で固定するブレーキである。そして、図 1 および図 2 に示す車輪 1 8 a および 1 8 b を駆動する車輪モータ 8 0 にはエンコーダ 8 2 が付属され、したがって、CPU 6 6 は、モータ制御ボード 7 2 を介して、車輪モータ 8 0 を駆動するとともに、エンコーダ 8 2 からエンコーダ信号 (パルス) を取り込むことができる。そのため、このエンコーダ 8 2 および CPU 6 6 によって、車輪の回転角速度を検出するための手段を構成する。

40

【 0 0 3 6 】

さらに、モータ制御ボード 7 2 は、CPU 6 6 からの制御データを受け、肩関節 4 0 の 3 軸のそれぞれの角度を制御する 3 つのモータと肘関節 4 4 の角度を制御する 1 つのモータとの計 4 つのモータ 8 6 (図 6 ではまとめて、「腕モータ」として示す。) の回転角度を調節する。モータ制御ボード 7 2 は、また、指 5 0 (図 1) を収納または伸張するための指モータ 8 8 を制御する。

【 0 0 3 7 】

50

なお、この実施例の上述のモータは、車輪モータ 80 を除いて、制御を簡単化するためにそれぞれステップモータまたはパルスモータであるが、車輪モータ 80 と同様に、直流モータであってよい。

【 0 0 3 8 】

センサ入力 / 出力ボード 74 も、同様に、DSP で構成され、各センサやカメラからの信号を取り込んで CPU 66 に与える。すなわち、超音波距離センサ 22 の各々からの反射時間に関するデータがこのセンサ入力 / 出力ボード 74 を通して、CPU 66 に入力される。さらに、この図 6 では、図 1 との関連で説明した上述のタッチセンサは、まとめて「タッチセンサ 92」として表され、それらのタッチセンサ 92 からの信号がセンサ入力 / 出力ボード 74 を介して、CPU 66 に与えられる。センサ入出力ボード 74 には、衝突センサ 94 が接続され、CPU 66 は、衝突センサ 94 からの信号によって、ロボット 10 が人や他の障害物に衝突したかどうかを検出することができる。

10

【 0 0 3 9 】

さらに、上述の腰関節 28 には、図 1 では図示していないが、外力の測定と環境に対するロボット 10 の姿勢の検出とに用いる 3 軸加速度センサ 96 が設けられる。したがって、CPU 66 は、センサ入出力ボード 74 を介して、加速度センサ 96 からのセンサ信号を受ける。後述のように、CPU 66 は、この加速度センサ 96 からの信号に基づいてロボット 10 に加えられた外力を推定し、その外力に応じたトルクを車輪 18 に生じさせるように、車輪モータ 80 を制御するとともに、重力加速度ベクトルを計測することによってロボットの姿勢を検出する。つまり、この 3 軸加速度センサ 96 とコンピュータまたは CPU 66 とによって倒れ角速度検出手段を構成する。

20

【 0 0 4 0 】

また、先の図 1 では図示していないが、上で述べた各モータにおける角度制御のために、各モータと対でポテンシオメータが設けられ、図 6 では一括してポテンシオメータ 98 として示す。具体的には、ポテンシオメータは、首関節の 3 つのモータ、各肩関節モータ、各肘関節モータ、腰関節の 3 つのモータ等に付属して設けられる。したがって、CPU 66 は、各ポテンシオメータからの位置信号に基づいて、ロボット 10 の現在の姿勢を推定することができる。

【 0 0 4 1 】

なお、図示しないが、この実施例のロボット 10 には、必要に応じて、人間とのコミュニケーションのためのスピーカやマイクを設けてもよい。

30

【 0 0 4 2 】

上述のように、この実施例のロボット 10 では、同軸上に取り付けられた 2 つの車輪 18 a および 18 b を制御することによって、ロボット 10 の転倒を防止するとともに、その自律移動を制御するようにしている。この実施例では、同軸 2 輪上の倒立振子として制御する。

【 0 0 4 3 】

詳しくいうと、この実施例のロボット 10 に適用されている同軸 2 輪倒立振子を図 7 に示すように表し、その倒立振子の運動方程式を導く。図 7 は倒立振子を車輪 18 と上半身機構 14 を表す質点が長さ l で質量が無視できる棒でつながれているものとしてモデル化する。ここで、 M_w 、 M_b 、 I_w 、 I_b は、それぞれ、車輪 18 と上半身機構 14 の質量と慣性モーメントを表す。また、 r 、 μ_g 、 μ_s は、それぞれ車輪の半径、車輪表面と床面との粘性係数、車軸 16 廻りの粘性係数を表す。、、は、それぞれ車輪の回転角度、上半身の回転角度、上半身に対する車輪の相対回転角度を表す。

40

【 0 0 4 4 】

この倒立振子の運動エネルギー T は

【 0 0 4 5 】

【数 1】

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1}{2}M_w(\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) + \frac{1}{2}M_b(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + \frac{1}{2}M_w I_w \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}M_w I_b \dot{\phi}^2 \\
 &= \frac{1}{2}M_w r^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}M_b(l^2 \dot{\phi}^2 \sin^2 \phi + (r\dot{\theta} + l\dot{\phi} \cos \phi)^2) \\
 &\quad + \frac{1}{2}M_w I_w \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}M_w I_b \dot{\phi}^2 \tag{1}
 \end{aligned}$$

10

【0046】

となる。また、位置エネルギーUと散逸エネルギーDは、

【0047】

【数 2】

$$\begin{aligned}
 U &= M_w g y_2 + M_b g y_1 \\
 &= M_w g r + M_b g (r + l \cos \phi) \tag{2}
 \end{aligned}$$

【0048】

【数 3】

$$D = \frac{1}{2}(\mu_g \dot{\theta}^2 + \mu_s \dot{\beta}^2) \tag{3}$$

20

【0049】

となる。また、この系に加わる非保存力は、上半身機構14から車軸16に与えられるトルクであるので、一般座標 β としてグランジュの運動方程式をたてると

【0050】

【数 4】

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \beta} + \frac{\partial U}{\partial \beta} + \frac{\partial D}{\partial \dot{\beta}} = \tau \tag{4}$$

30

【0051】

【数 5】

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} + \frac{\partial U}{\partial \theta} + \frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}} = 0 \tag{5}$$

【0052】

となる。したがって、上式(1)、(2)、(3)および式(4)、(5)から

【0053】

【数 6】

$$-(M_b l^2 + I_b) \ddot{\phi} - M_b r l \ddot{\theta} \cos \phi + M_b g l \sin \phi + \mu_s (\dot{\theta} - \dot{\phi}) = \tau \tag{6}$$

【0054】

【数 7】

$$\begin{aligned}
 &((M_w + M_b)r^2 + M_b r l \cos \phi + I_w) \ddot{\theta} + (M_b l^2 + M_b r l \cos \phi + I_b) \ddot{\phi} \\
 &\quad - M_b r l \dot{\phi}^2 \sin \phi - M_b g l \sin \phi + \mu_g \dot{\theta} = 0 \tag{7}
 \end{aligned}$$

【0055】

50

【数 8】

を得る. ここで, 式 (6),(7) を, $\phi \simeq 0, \dot{\phi} \simeq 0$ として
以下のように運動方程式を線形化する.

$$(M_b l^2 + I_b)\ddot{\phi} + \mu_s \dot{\phi} - M_b g l \phi + M_b r l \ddot{\theta} - \mu_s \dot{\theta} = -\tau \quad (8)$$

【0056】

【数 9】

$$\begin{aligned} & (M_b l^2 + M_b r l + I_b)\ddot{\phi} - M_b g l \phi \\ & + ((M_w + M_b)r^2 + M_b r l + I_w)\ddot{\theta} + \mu_g \dot{\theta} = 0 \quad (9) \end{aligned}$$

10

【0057】

【数 10】

状態方程式は, 式 (8), (9) から状態ベクトルを
 $x = [\phi \ \dot{\phi} \ \dot{\theta}]^T$ として,

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (10)$$

20

【0058】

【数 11】

$$A = \frac{1}{ad - bc} \begin{bmatrix} 0 & ad - bc & 0 \\ (d - c)M_b g l & -\mu_s d & \mu_g c + \mu_s d \\ (a - b)M_b g l & \mu_s b & -\mu_g a - \mu_s b \end{bmatrix} \quad (11)$$

【0059】

【数 12】

$$B = \frac{1}{ad - bc} \begin{bmatrix} 0 \\ b \\ -d \end{bmatrix} \quad (12)$$

30

【0060】

ただし、 a, b, c, d はそれぞれ

【0061】

【数 13】

$$a = M_b l^2 + I_b \quad (13)$$

40

【0062】

【数 14】

$$b = M_b l^2 + I_b + M_b r l \quad (14)$$

【0063】

【数 15】

$$c = M_b r l \quad (15)$$

【0064】

50

【数 16】

$$d = (M_w + M_b)r^2 + M_b r l + I_w \quad (16)$$

【0065】

ただし、入力 $u(t) = r$ である。

【0066】

このようにして、実施例のロボット10の状態方程式 y が求まる。

【0067】

【数 17】

状態変数 ϕ , $\dot{\phi}$, $\dot{\theta}$ が全て観測できるとき、出力方程式は式(17)となる。

10

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x \quad (17)$$

【0068】

となる。このとき、状態ベクトルを零ベクトルに収束させるフィードバック系は

【0069】

20

【数 18】

$$u = K y = K x \quad (18)$$

【0070】

で表すことができる。

【0071】

これは状態フィードバック制御系であり、たとえばリカッチ方程式などを利用して適当なゲイン行列 K を決定すれば、状態ベクトルを必ず零ベクトルに収束させることができる。

【0072】

30

なお、上半身機構14の重心の位置がわからない場合には、出力方程式は式(19)で与えられる。

【0073】

【数 19】

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x \quad (19)$$

ただし、このままでは状態変数が全て観測できていないので、状態フィードバックができないが、制御系が可観測なので、低次元オブザーバを構成することができる。低次元オブザーバによって角度 ϕ を推定し、観測した $\dot{\phi}$ と $\dot{\theta}$ とともに状態フィードバック系を構成すれば、上で説明したと同じように、状態ベクトルを零ベクトルに収束することができる。

40

【0074】

このようにして、実施例のロボット10が同軸2輪倒立振子として制御され得ることが理解できる。つまり、この倒立振子制御は、基本的に、車輪18と上半身機構14の重心とを結ぶ直線と鉛直線とのなす角度 α を0(ゼロ)に収束させる制御である。ただし、この角度 α が0(ゼロ)なら静止で、 $\alpha > 0$ なら前進移動、 $\alpha < 0$ なら後退移動である。そ

50

して、実施例のロボット10では車輪18aおよび18bを回転させて前進移動または後退移動を制御するので、移動制御のためにはも車輪18の回転角速度 $\dot{\theta}$ も制御する必要がある。なお、ここで記号「 $\dot{\theta}$ 」は、上の式における記号「 \cdot 」と同じ1回微分を表す記号であり、「 $\ddot{\theta}$ 」は2回微分すなわち上の式での「 $\cdot\cdot$ 」と同じ意味を表す記号である。

【0075】

なお、ロボット10において、上半身機構14が動くとその質量分布が変わるため、上半身機構14の重心位置は動的に変化する。このような重心位置は、ロボット10の各パーツ(部品)の質量分布(たとえば、モータがどこに配置されていて減速ギヤの位置はどこで、それぞれどれだけの質量で、などのような情報から計算した)と姿勢とに基づいて計算で求めることも可能ではある。ただし、このように重心位置を計算しながらロボット10を制御する場合、その重心位置を正確に計算するためのコストが非常に高くなってしまふ。したがって、以下では、上半身機構14の重心位置を観測(計算)しない場合の動作を説明する。

10

【0076】

図8は実施例のロボット10の移動制御動作を示すフロー図であり、図9はロボット10の直立制御動作を示すフロー図である。実際には、図8のフロー図および図9のフロー図が並列に動作している状態でロボット10が動く。

【0077】

電源(図示せず)がオンされると、図8のフロー図に基づく制御が開始され、最初のステップS1では、CPU66、電磁ブレーキ78を解除して、ロボット10を動かすことができるような状態にする。続くステップS3では、CPU66は、他のプログラムから、移動速度指令値 v_d を受け取る。そして、ステップS5において、CPU66は、3軸加速度センサ96からのセンサ信号に基づいて、上半身機構14の回転角度 θ を計測する。次のステップS7では、CPU66は、車輪モータ80に付属しているエンコーダ82からの回転信号に基づいて、車輪18の回転角度 ϕ を計測する。

20

【0078】

そして、ステップS9において、上述のようにして求めた θ および ϕ から、低次元オブザーバによって、角度 θ の推定値 $\hat{\theta}$ (ただし、記号「 $\hat{\theta}$ 」はハットである。)を求める。この推定値 $\hat{\theta}$ および回転角度 ϕ および $\dot{\phi}$ が倒立振子モデルの状態変数であり、ステップS11において、これらの状態変数 $\hat{\theta}$ 、 ϕ および $\dot{\phi}$ に応じて、車輪18に与えるトルク τ を計算する。そして、ステップS13で、CPU66はそのようにして求めたトルク τ を車輪18が受けるように車輪モータ80を制御する制御データを、モータ制御ボード72へ与える。それに応じて、車輪18がそのトルク τ で回転する。このようにして、状態変数をフィードバックすることによって上半身機構14の回転角度 θ あるいは車輪18の回転角度 ϕ を任意の値へ収束させることができる。つまり、移動速度指令値 v_d をCPU66に与えることによって、ロボット10をその指令値で移動させることができる。

30

【0079】

次に、図9を参照して、この図9のフロー図は、ロボット10が押された場合に転倒を防止する動作を示す。図9のフロー図は、図6に示すタッチセンサ92がオンしたとき、開始される。タッチセンサ92がオンすると、CPU66は、ステップS21において、反応したタッチセンサ92は上半身機構14上に配置されているものかどうか、すなわち、上半身機構14に設けられたタッチセンサが反応したのかどうか判断する。このステップS21において“YES”なら、次のステップS23において、CPU66は、腰関節28を押された方向へ動かすように、腰モータ84を制御する。詳しくいうと、たとえば肩に設けられたタッチセンサが前から押されたとすると、CPU66は、胸部32が後方(図3の矢印C方向)へ傾倒するように、腰モータ84を駆動する。そして、次のステップS25において、CPU66は、ステップS23での傾倒が腰関節28の可動限界に達したかどうか判断する。このステップS25において“NO”が判断されると、ステップ

40

50

S 3 1において、タッチセンサ 9 2 がまだ反応しているかどうか判断する。タッチセンサが未だ反応し続けていれば、すなわち、ロボット 1 0 が外力によって押され続けていれば、先のステップ S 2 3 に戻って、腰関節 2 8 の制御を継続する。

【 0 0 8 0 】

ロボット 1 0 が押され続けて、もし、腰関節の可動限界に達したことがステップ S 2 5 で検出されると、次のステップ S 2 7 において、CPU 6 6 は、押された方向と同じ方向の速度指令値を倒立振り制御系の ω へ出力する。したがって、このステップ S 2 7 において、図 8 のような移動制御が行われ、図 8 のステップ S 1 3 と同様に、その指令値 ω に応じたトルクを車輪 1 8 に与える。したがって、ロボット 1 0 は押された方向へ移動する。

10

【 0 0 8 1 】

その後、ステップ S 2 9 において、CPU 6 6 はタッチセンサ 9 2 が未だ反応しているかどうか、判断する。“YES”なら、ステップ S 2 7 に戻り、“NO”なら、先のステップ S 3 1 において“NO”の場合と同様に、ステップ S 3 3 に進み、ステップ S 3 3 では、CPU 6 6 は、腰モータ 8 4 等を制御して、ロボット 1 0 の姿勢を、この図 9 のルーチンの開始時の姿勢、すなわち、元の姿勢に戻す。このようにして、倒立振り制御を利用して、ロボット 1 0 が押された場合の転倒が回避される。

【 0 0 8 2 】

なお、上半身機構 1 4 の重心が計測（計算）できる場合には、図 8 に相当する移動制御は図 1 0 に示すフロー図に従って実行される。すなわち、電源（がオンされると、最初のステップ S 4 1 では、CPU 6 6 は、電磁ブレーキ 7 8（図 6）を解除して、ロボット 1 0 を動かことができるような状態にする。

20

【 0 0 8 3 】

続くステップ S 4 3 では、CPU 6 6 は、3 軸加速度センサ 9 6（図 6）からの信号に基づいて上半身機構 1 4 の回転角度 θ （ θ は上半身の姿勢によって決まる値）およびその 1 回微分値 $\dot{\theta}$ を計測する。そして、次のステップ S 4 5 において、CPU 6 6 は、図 6 に示すポテンシオメータ 9 8 からの信号に基づいて、各関節の角度を調節し、それに応じたロボット 1 0 のそのときの姿勢から上記 θ を計算する。その後、ステップ S 4 7 において、CPU 6 6 は、車輪モータ 8 0 のエンコーダ 8 2 からの信号に基づいて、車輪の回転角度 ϕ を計測する。

30

【 0 0 8 4 】

そして、ステップ S 4 9 において、上述のようにして求めた角度 θ 、 $\dot{\theta}$ および ϕ から、車輪 1 8 に与えるトルク T を計算する。すなわち、角度 θ 、 $\dot{\theta}$ および ϕ から低次元オブザーバによって、角度 θ の推定値 $\hat{\theta}$ を求め、この $\hat{\theta}$ 、 $\dot{\theta}$ および ϕ に応じたトルク T を計算する。そして、ステップ S 5 1 で、CPU 6 6 はそのようにして求めたトルク T を車輪 1 8 に与えるように、車輪モータ 8 0 を制御する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 5 】

【図 1】この発明の一実施例のコミュニケーションロボットを示す正面図である。

【図 2】図 1 実施例のコミュニケーションロボットを示す左側面図である。

40

【図 3】図 1 実施例の平行リンクを詳細に示す図解図である。

【図 4】図 3 実施例の平行リンクの作用（腰をかがめた状態）を示す図解図である。

【図 5】図 3 実施例の平行リンクの作用（腰を伸ばした状態）を示す図解図である。

【図 6】図 1 実施例の制御系を示すブロック図である。

【図 7】図 1 実施例における同軸 2 輪の倒立振り制御の原理を示す図解図である。

【図 8】図 1 実施例における重心を計測しない場合の移動制御の動作を示すフロー図である。

【図 9】図 1 実施例における重心を計測しない場合の転倒防止制御動作を示すフロー図である。

【図 1 0】図 1 実施例における重心を計測する場合の移動制御の動作を示すフロー図であ

50

る。

【符号の説明】

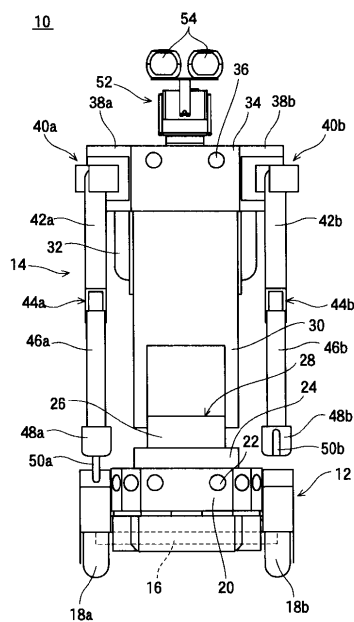
【0086】

- 10 ...コミュニケーションロボット
- 12 ...台車
- 14 ...上半身機構
- 16 ...車軸
- 18 (18 a , 18 b) ...車輪
- 26 ...腰支持部
- 28 ...腰関節
- 30 ...リンク部
- 32 ...胸部
- 58 , 62 ...円板
- 64 ...リンク
- 66 ...CPU
- 72 ...モータ制御ボード
- 74 ...センサ入出力ボード
- 80 ...車輪モータ
- 82 ...エンコーダ
- 84 ...腰モータ
- 86 ...指モータ
- 92 ...タッチセンサ
- 96 ...3軸加速度センサ

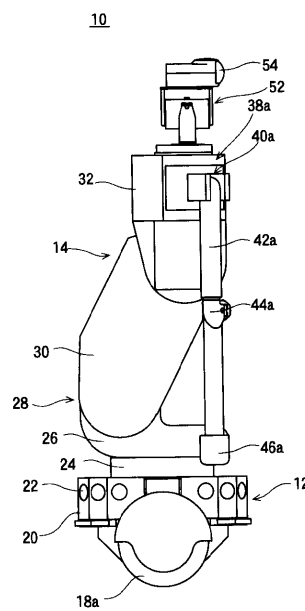
10

20

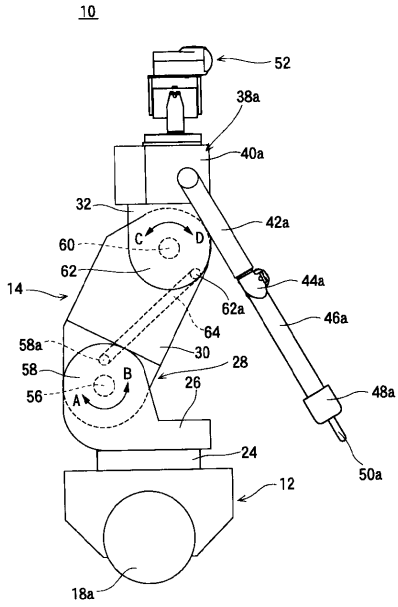
【図1】



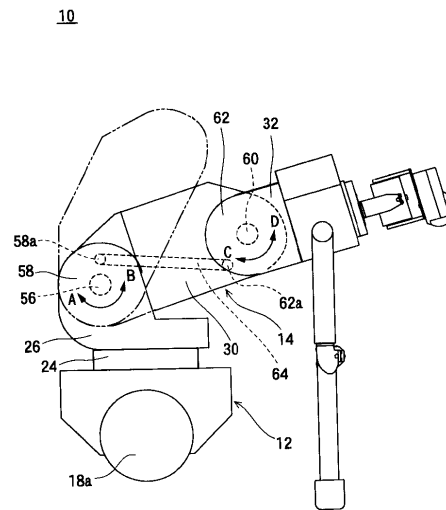
【図2】



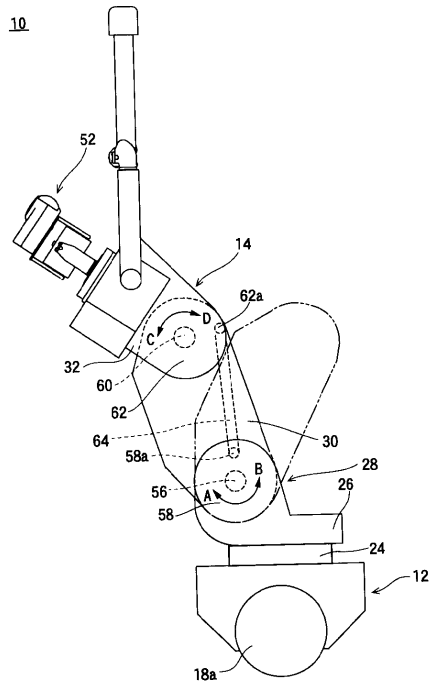
【図3】



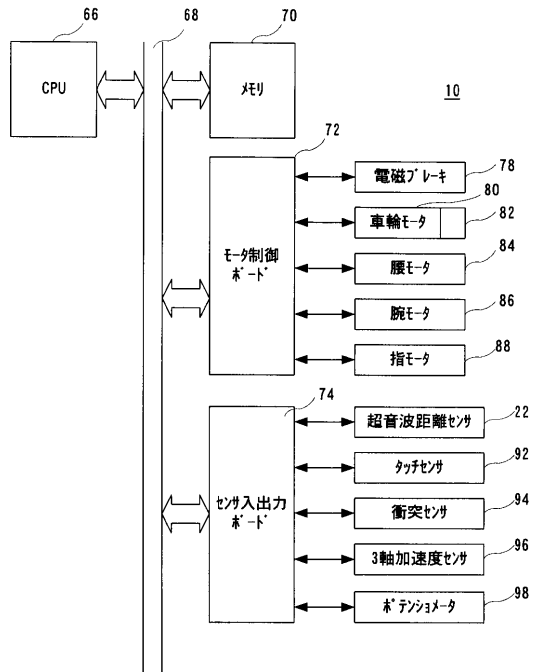
【図4】



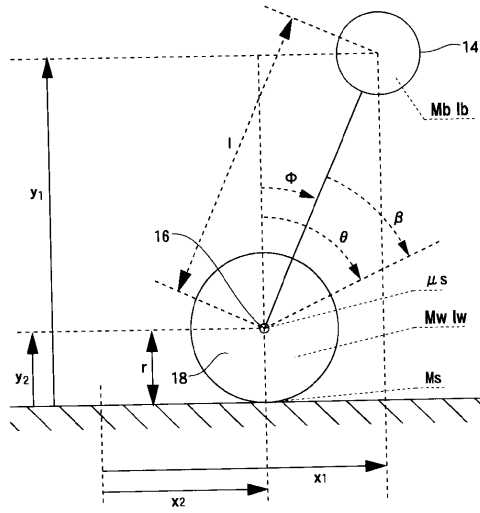
【図5】



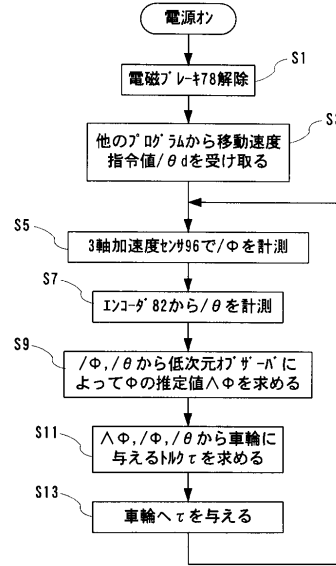
【図6】



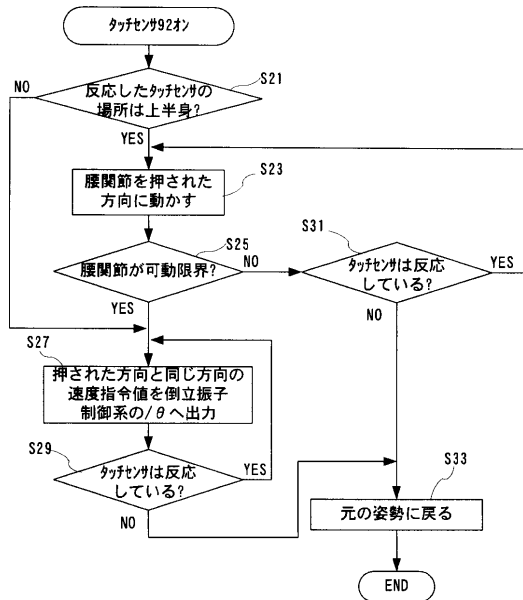
【図7】



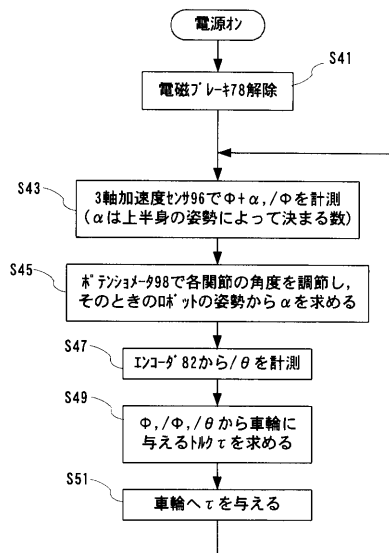
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 神田 崇行

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

審査官 柿崎 拓

(56)参考文献 特開平04-015713(JP,A)
特開昭63-305082(JP,A)
特開2001-260056(JP,A)
特開2001-209402(JP,A)
実開昭61-124388(JP,U)
特開平1-316810(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05D 1/02-08
A63H 11/00
A63H 13/04
B25J 5/00
B25J 13/00