

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4063560号
(P4063560)

(45) 発行日 平成20年3月19日(2008.3.19)

(24) 登録日 平成20年1月11日(2008.1.11)

(51) Int.Cl.		F I	
G05D 1/02	(2006.01)	G05D 1/02	X
A63H 11/00	(2006.01)	A63H 11/00	Z
A63H 13/04	(2006.01)	A63H 13/04	R
B25J 5/00	(2006.01)	B25J 5/00	A
B25J 13/00	(2006.01)	B25J 13/00	Z

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-73745 (P2002-73745)
 (22) 出願日 平成14年3月18日(2002.3.18)
 (65) 公開番号 特開2003-271243 (P2003-271243A)
 (43) 公開日 平成15年9月26日(2003.9.26)
 審査請求日 平成16年6月4日(2004.6.4)

(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
 (74) 代理人 100090181
 弁理士 山田 義人
 (72) 発明者 今井 倫太
 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
 (72) 発明者 宮下 敬宏
 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
 (72) 発明者 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たコミュニケーションロボットであって、
 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、
 前記車輪を回転する車輪モータ、
 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、
 前記上半身機構は重力方向に対してこの上半身機構を傾動できるようにする腰関節を含み、さらに
 前記上半身機構に設けられるタッチセンサ、
 前記上半身機構の傾動角度を変更する腰モータ、および
 前記タッチセンサによって検出した押し方向に前記腰関節を動かすように前記腰モータを制御する腰モータ制御手段を備える、コミュニケーションロボット。

【請求項 2】

前記腰関節が可動限界に達したかどうか検出する検出手段、および

前記検出手段が前記腰関節が前記可動限界に達したことを検出したとき、前記押し方向へ前記台車が移動するように前記車輪モータを制御する第 2 車輪モータ制御手段をさらに備える、請求項 1 記載のコミュニケーションロボット。

【請求項 3】

前記腰関節を支持する腰支持部、および前記腰支持部に平行リンクを介して連結される胸部をさらに備える、請求項 1 または 2 記載のコミュニケーションロボット。

【請求項 4】

前記胸部に取り付けられる腕と、前記腕の先端に取り付けられる手と、前記手に設けられて折り畳み / 伸張可能な指をさらに備える、請求項 3 記載のコミュニケーションロボット。

10

【請求項 5】

前記平行リンクは、前記腰支持部に設けられる第 1 円板、前記胸部に設けられる第 2 円板、前記第 1 円板および前記第 2 円板の中心を連結する第 1 連結部材、前記第 1 円板および前記第 2 円板を連結する第 2 連結部材を含み、

前記腰モータは前記第 1 円板を回転駆動する、請求項 3 または 4 記載のコミュニケーションロボット。

【発明の詳細な説明】

【0001】

20

【産業上の利用分野】

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。

【0002】

【従来の技術】

この種の従来のロボットでは、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。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の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。

30

【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。

【0005】

【課題を解決するための手段】

第 1 の発明に従ったコミュニケーションロボットは、複数の軸を持つ上半身機構を台車上に載置したコミュニケーションロボットであって、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、車輪を回転する車輪モータ、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、上半身機構は重力方向に対してこの上半身機構を傾動できるようにする腰関節を含み、さらに上半身機構に設けられるタッチセンサ、上半身機構の傾動角度を変更する腰モータ、およびタッチセンサによって検出した押し方向に腰関節を動かすように腰モータを制御する腰モータ制御手段を備える、コミュニケーションロボットである。

40

50

【0006】

この場合、車輪は車輪モータで回転駆動され、車輪制御手段は、車輪モータを制御する車輪モータ制御手段を含む。

【0009】

そして、腰関節が可動限界に達したかどうかを検出する検出手段、および検出手段が腰関節が可動限界に達したことを検出したとき、押し方向へ台車が移動するように車輪モータを制御する第2車輪モータ制御手段をさらに設けてもよい。

【0010】

なお、胸部は平行リンクを介して腰関節に連結され得る。

【0011】

この平行リンクは、腰支持部に設けられる第1円板、胸部に設けられる第2円板、第1円板および第2円板の中心を連結する第1連結部材、および第1円板および第2円板を連結する第2連結部材を含み、腰モータが第1円板を回転駆動する。

【0012】

【作用】

第1の発明に従ったコミュニケーションロボットでは、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。

【0013】

さらに、上半身機構に設けられるタッチセンサ、腰関節の回転角度を変更する腰モータ、およびタッチセンサによって検出した押し方向に腰関節を動かすように腰モータを制御する腰モータ制御手段をさらに備えるコミュニケーションロボットにおいて、検出手段が腰関節が可動限界に達したことを検出すると、第2の車輪モータ制御手段が、その押し方向へ台車が移動するように車輪モータを制御する。それによって、同軸2輪倒立振子制御系において、転倒が防止される。

【0014】

さらに、第1円板すなわち腰支持部と第2円板すなわち胸部とが平行リンクを介して連結されていて、したがって、腰モータによって第1円板を回転または回動すると、その第1円板の回転と共に第2円板が回転する。したがって、1つの腰モータによって腰関節を傾動させるだけで、その傾動に応じて胸部も変位させることができる。

【0015】

【発明の効果】

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。

【0016】

また、請求項6の発明によれば、1つのモータで腰関節および胸部を共に変位させることができるので、上半身機構に設けるモータの数を減じることができ、したがって、ロボットの重心を低くすることができる。したがって、倒立振子制御を安定し易くすることができる。

【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ろう。

【0018】

【実施例】

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

10

20

30

40

50

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が回転可能に取り付けられる。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られるようにしてもよい。

10

【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。

【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している。

20

【0022】

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。

30

【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。

40

【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

50

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。

10

【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。

20

【0029】

そして、円板58すなわち軸56は、腰モータ84(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58が矢印AまたはB方向へ回転すると、その回転がロッド64によって円板62へ伝達され、したがって、円板62が矢印CまたはD方向へ回転ないし回動される。胸部32はこの円板62に固着されている。したがって、円板62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32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。

【0030】

つまり、この実施例では、ロボット10の機構の単純化と低重心化を図るために、腰モータ84によって、腰関節28だけでなく、パラレルリンクを介して胸部32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32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。

30

【0031】

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。

40

【0032】

なお、上で述べたように、腰関節28は2自由度であり、そのうちの1つの軸が腰モータ84によって制御される軸58であり、他の軸は、いずれも図示しないが、腰支持部26を水平面内で回転させる垂直軸である。

【0033】

図1に示すロボット10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10は、全体の制御のためにマイクロコンピュータまたはCPU66を含み、このCPU66には、バス68を通して、メモリ70、モータ制御ボード72およびセンサ入力/出力ボード74が接続される。

50

【0034】

メモリ70は、図示しないが、ROMやRAMを含み、ROMにはこのロボット10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。

【0035】

モータ制御ボード72は、たとえばDSP(Digital Signal Processor)で構成され、電磁ブレーキ78や他のモータ80、84、86および88を制御する。電磁ブレーキ78は、上記腰関節28(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18aおよび18bを駆動する車輪モータ80にはエンコーダ82が付属され、したがって、CPU66は、モータ制御ボード72を介して、車輪モータ80を駆動するとともに、エンコーダ82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82およびCPU66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。

10

【0036】

さらに、モータ制御ボード72は、CPU66からの制御データを受け、肩関節40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44の角度を制御する1つのモータとの計4つのモータ86(図6ではまとめて、「腕モータ」として示す。)の回転角速度を調節する。モータ制御ボード72は、また、指50(図1)を収納または伸張するための指モータ88を制御する。

20

【0037】

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。

【0038】

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CPU66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、CPU66に輸入される。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、CPU66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、CPU66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。

30

【0039】

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、CPU66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、CPU66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CPU66とによって倒れ角速度検出手段を構成する。

40

【0040】

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、CPU66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。

50

【0041】

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。

【0042】

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18aおよび18b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。

【0043】

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。、 θ 、 ϕ 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。

10

【0044】

この倒立振子の運動エネルギー T は

【0045】

【数1】

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

20

【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】

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

30

【0048】

【数3】

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

40

【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、 θ 、 ϕ としてグランジュの運動方程式をたてると

【0050】

【数4】

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

【 0 0 5 1 】

【数 5】

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

10

【 0 0 5 2 】

となる。したがって、上式(1), (2), (3)および式(4), (5)から

【 0 0 5 3 】

【数 6】

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

【 0 0 5 4 】

【数 7】

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

20

【 0 0 5 5 】

【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。

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

30

【 0 0 5 6 】

【数 9】

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

【 0 0 5 7 】

【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、

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

40

【 0 0 5 8 】

【数 11】

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

【 0 0 5 9 】

【 数 1 2 】

$$B = \frac{1}{ad - bc} \begin{bmatrix} 0 \\ b \\ -d \end{bmatrix} \quad (12) \quad 10$$

【 0 0 6 0 】

ただし、 a , b , c , d はそれぞれ

【 0 0 6 1 】

【 数 1 3 】

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

【 0 0 6 2 】

【 数 1 4 】

20

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

【 0 0 6 3 】

【 数 1 5 】

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

【 0 0 6 4 】

【 数 1 6 】

30

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

【 0 0 6 5 】

ただし、入力 $u(t) = r$ である。

【 0 0 6 6 】

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。

【 0 0 6 7 】

【 数 1 7 】

40

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。

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

【 0 0 6 8 】

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

50

【 0 0 6 9 】

【 数 1 8 】

$$u = Ky = Kx \quad (18)$$

【 0 0 7 0 】

で表すことができる。

【 0 0 7 1 】

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。

10

【 0 0 7 2 】

なお、上半身機構 1 4 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。

【 0 0 7 3 】

【 数 1 9 】

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

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 ϕ 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。

20

【 0 0 7 4 】

このようにして、実施例のロボット 1 0 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 1 8 と上半身機構 1 4 の重心とを結ぶ直線と鉛直線とのなす角度 θ を 0 (ゼロ) に収束させる制御である。ただし、この角度 θ が 0 (ゼロ) なら静止で、 $\theta > 0$ なら前進移動、 $\theta < 0$ なら後退移動である。そして、実施例のロボット 1 0 では車輪 1 8 a および 1 8 b 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 1 8 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「/」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、「//」は 2 回微分すなわち上の式での「 $\ddot{\cdot}$ 」と同じ意味を表す記号である。

30

【 0 0 7 5 】

なお、ロボット 1 0 において、上半身機構 1 4 が動くとその質量分布が変わるため、上半身機構 1 4 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 1 0 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 1 0 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 1 4 の重心位置を観測(計算)しない場合の動作を説明する。

40

【 0 0 7 6 】

図 8 は実施例のロボット 1 0 の移動制御動作を示すフロー図であり、図 9 はロボット 1 0 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 1 0 が動く。

【 0 0 7 7 】

50

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 θ_w を計測する。

【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 θ_w 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、この推定値 $\hat{\theta}$ および回転角度 θ_w および θ_w が倒立振り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 $\hat{\theta}$ 、 θ_w および θ_w に応じて、車輪18に与えるトルク T_w 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 T_w 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 T_w 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 θ_w 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。

【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S31において、タッチセンサ92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10が外力によって押され続けていれば、先のステップS23に戻って、腰関節28の制御を継続する。

【0080】

ロボット10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S25で検出されると、次のステップS27において、CPU66は、押された方向と同じ方向の速度指令値を倒立振り子制御系の V_d へ出力する。したがって、このステップS27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S13と同様に、その指令値 V_d に応じたトルクを車輪18に与える。したがって、ロボット10は押された方向へ移動する。

【0081】

その後、ステップS29において、CPU66はタッチセンサ92が未だ反応しているかどうか、判断する。“YES”なら、ステップS27に戻り、“NO”なら、先のステップS31において“NO”の場合と同様に、ステップS33に進み、ステップS33では、CPU66は、腰モータ84等を制御して、ロボット10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、倒立振り子制御を利用して、ロボット10が押された場合の転倒が回避される。

【0082】

なお、上半身機構14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

10

20

30

40

50

図10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S41では、CPU66は、電磁ブレーキ78（図6）を解除して、ロボット10を動かすることができるような状態にする。

【0083】

続くステップS43では、CPU66は、3軸加速度センサ96（図6）からの信号に基づいて上半身機構14の回転角度（+：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/を計測する。そして、次のステップS45において、CPU66は、図6に示すポテンシオメータ98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10のそのときの姿勢から上記を計算する。その後、ステップS47において、CPU66は、車輪モータ80のエンコーダ82からの信号に基づいて、車輪の回転角度/を計測する。

10

【0084】

そして、ステップS49において、上述のようにして求めた角度、/および/から、車輪18に与えるトルクを計算する。すなわち、角度、/および/から低次元オブザーバによって、角度の推定値を求め、この、/および/に応じたトルクを計算する。そして、ステップS51で、CPU66はそのようにして求めたトルクを車輪18に与えるように、車輪モータ80を制御する。

【図面の簡単な説明】

【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。

20

【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輪の倒立振り子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10】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る。

30

【符号の説明】

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 (18a, 18b) ...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

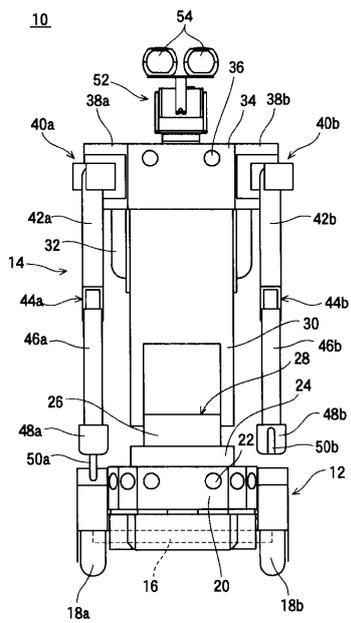
86 ...指モータ

40

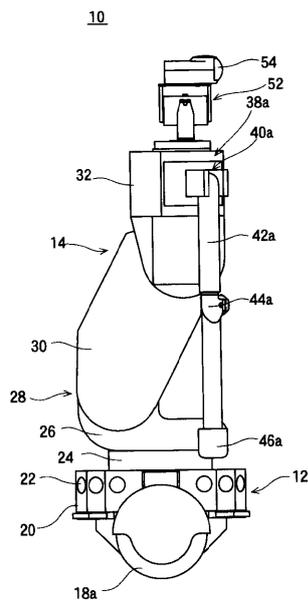
50

- 9 2 ... タッチセンサ
- 9 6 ... 3 軸加速度センサ

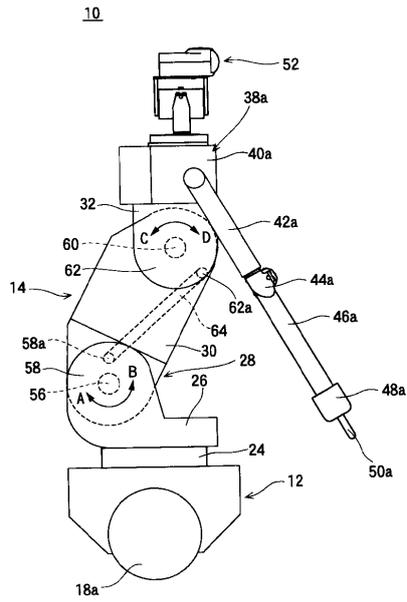
【図 1】



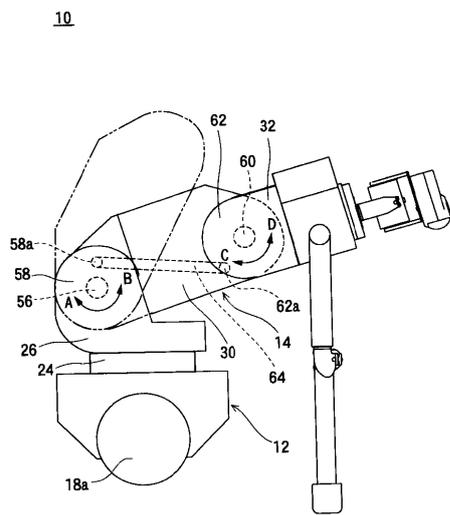
【図 2】



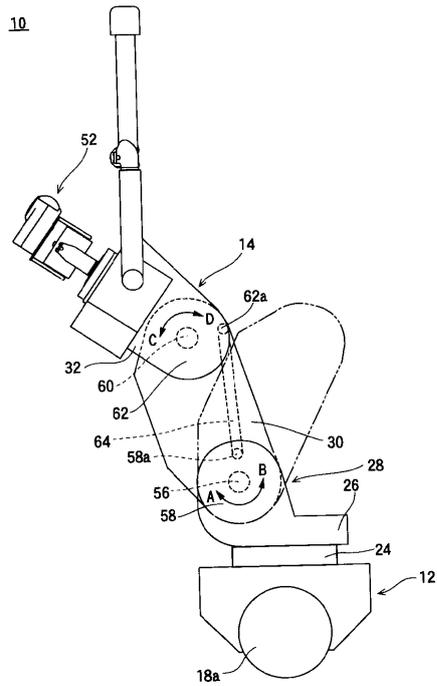
【図3】



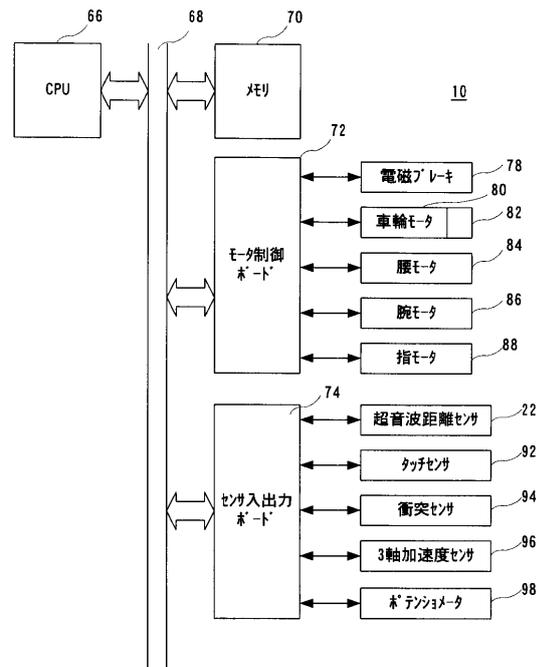
【図4】



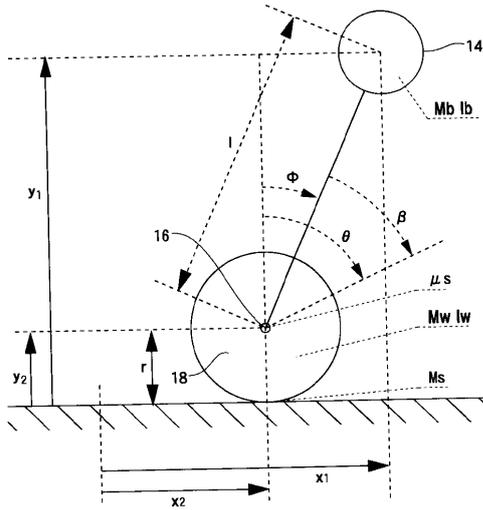
【図5】



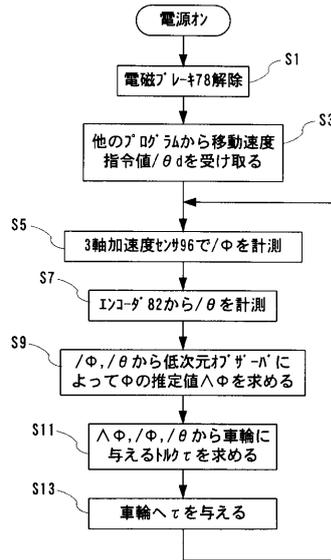
【図6】



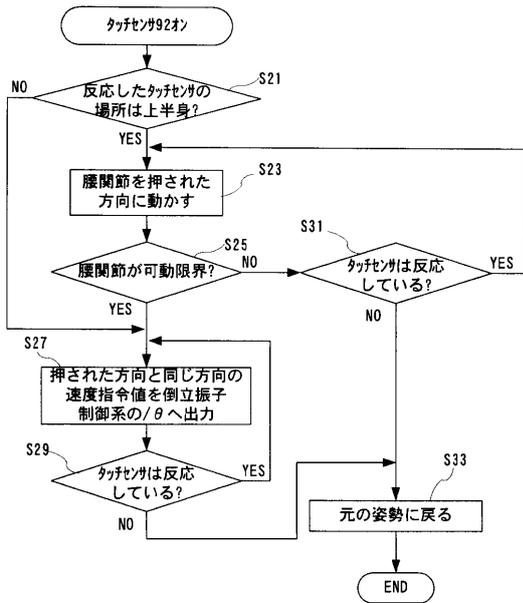
【図7】



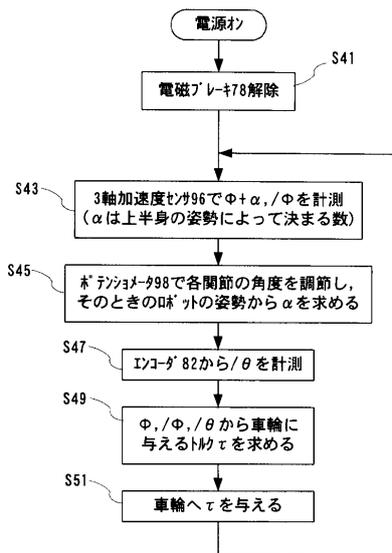
【図8】



【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 佐々木 一浩

(56)参考文献 特開昭63-305082(JP,A)
特開2001-260056(JP,A)
特開2001-209402(JP,A)
特開平04-015713(JP,A)
実開昭61-124388(JP,U)
特開平01-316810(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

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