

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6501921号
(P6501921)

(45) 発行日 平成31年4月17日(2019.4.17)

(24) 登録日 平成31年3月29日(2019.3.29)

(51) Int.Cl.		F I			
B 2 5 J	5/00	(2006.01)	B 2 5 J	5/00	F
B 2 5 J	13/00	(2006.01)	B 2 5 J	13/00	Z

請求項の数 15 (全 29 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-565774 (P2017-565774)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成28年9月5日(2016.9.5)</p> <p>(65) 公表番号 特表2018-527646 (P2018-527646A)</p> <p>(43) 公表日 平成30年9月20日(2018.9.20)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/CN2016/098084</p> <p>(87) 国際公開番号 W02017/092463</p> <p>(87) 国際公開日 平成29年6月8日(2017.6.8)</p> <p>審査請求日 平成30年3月5日(2018.3.5)</p> <p>(31) 優先権主張番号 201510874545.X</p> <p>(32) 優先日 平成27年12月2日(2015.12.2)</p> <p>(33) 優先権主張国 中国 (CN)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 512280079 ゴーアテック インコーポレイテッド GOERTEK INC 中華人民共和国、シャントン 26103 1、ウェイハン、ハイテック インダス トリー ディストリクト、ドンファン ロ ード ナンバー268 #268 Dongfang Road, Hi-Tech Industry Di strict, Weifang, Shan dong, China</p> <p>(74) 代理人 100129425 弁理士 小川 護晃</p> <p>(74) 代理人 100099623 弁理士 奥山 尚一</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 二足ロボットの歩行制御方法及び歩行制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

二足ロボットの一つの整った歩行が、歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階の三つの段階を含み、歩行開始段階とは、ロボットが両足を揃えた静止立位状態から歩行を開始して安定的な周期性を有する歩行へ移行する段階であり、歩行中間段階とは、前記歩行開始段階の歩行から移行したロボットの安定した周期的な歩行段階であり、歩行停止段階とは、前記歩行中間段階の歩行から徐々に速度を下げて安定的な静止立位状態に戻るまでの段階であり、これらの歩行段階の制御を行う二足ロボットの歩行制御方法であって、

二足ロボットの歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における歩行制御パラメータを選択するとともに、二足ロボットのゼロモーメント点が安定領域内に位置する時の、前記二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡を取得するステップと、

前記歩行中間段階における前記質量中心の運動軌跡によって、該質量中心の歩行中間段階開始時における各歩行制御パラメータの第一数値、及び、該質量中心の歩行中間段階終了時における各歩行制御パラメータの第二数値を得るステップと、

前記第一数値を用いて、歩行開始段階終了時の前記質量中心の満たすべき第一制約条件を設定し、前記第二数値を用いて、歩行停止段階開始時の前記質量中心の満たすべき第二制約条件を設定するものであって、第一制約条件として、歩行開始段階終了時刻の各歩行制御パラメータが歩行中間段階開始時刻の各歩行制御パラメータと同じになるものとし、第二制約条件として、歩行停止段階開始時刻の各歩行制御パラメータが歩行中間段階終了時刻の各歩行制御パラメータと同じになるものとするステップと、

前記第一制約条件及び前記第二制約条件に基づいて、前記質量中心の歩行開始段階及び歩行停止段階における運動軌跡をそれぞれ算出するステップと、

前記二足ロボットの歩行を制御することで、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が前記質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにして、前記二足ロボットの安定的な歩行を実現するステップと、を含む、ことを特徴とする二足ロボットの歩行制御方法。

【請求項 2】

前記二足ロボットの歩行を制御することで、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が前記質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにすることが、

10

前記質量中心の各段階における運動軌跡によって、二足ロボットの股関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡を算出することと、

二足ロボットの足首関節の所定の運動高さによって、両脚の足首関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡を算出することと、

前記股関節及び前記足首関節の各段階における運動軌跡、二足ロボットの脚部の構造位置関係、及び、前記脚部の長さの数値によって、股関節、足首関節、膝関節の各段階における対応する所定の角度軌跡を算出して、股関節、足首関節及び膝関節のうちの一つ又は複数を制御点として選択して、二足ロボットの歩行時に、前記制御点の回転角をリアルタイムに検出し、前記制御点の上記各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された制御点の回転角に対して適応トラッキング制御を行い、これにより、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が前記質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにすることと、を含む、ことを特徴とする請求項 1 に記載の歩行制御方法。

20

【請求項 3】

前記歩行制御パラメータの各パラメータが、いずれも、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、そのうち、該歩行制御パラメータが位置と速度を含み、或いは、該歩行制御パラメータが位置、速度及び加速度を含む、ことを特徴とする請求項 1 に記載の歩行制御方法。

【請求項 4】

前記二足ロボットの歩行を制御することが、

30

達したい歩行中間段階開始時における質量中心の初期速度、及び、運動エネルギーと位置エネルギーとの変換関係によって、歩行開始段階終了時における二足ロボットの質量中心の垂直方向での高さHzを算出することをさらに含み、取得された前記二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡は、歩行中間段階開始時及び歩行中間段階終了時における前記質量中心の垂直方向での高さが共にHzであるという条件を満たす、ことを特徴とする請求項 3 に記載の歩行制御方法。

【請求項 5】

前記の、達したい歩行中間段階開始時における質量中心の初期速度、及び、運動エネルギーと位置エネルギーとの変換関係によって、歩行開始段階終了時における二足ロボットの質量中心の垂直方向での高さHzを算出することが、

40

下式によって、歩行開始段階終了時の質量中心の低下する距離 z を算出することを含み、

$$mg\Delta z = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_0^2)$$

そのうち、 v_1 が達したい歩行中間段階開始時における質量中心の初期速度、 v_0 が歩行開始段階初期時刻の速度、 m が前記二足ロボットの質量、 g が重力加速度であり、質量中心の垂直方向での初期高さ z との差値から、歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzを得る、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の歩行制御方法。

50

【請求項6】

前記歩行制御パラメータが位置と速度である場合、位置パラメータと速度パラメータが共に二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、

歩行開始段階終了時の質量中心の満たす前記第一制約条件が、第一順方向制約条件、第一横方向制約条件及び第一垂直方向制約条件を含み、

前記第一順方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値及び速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第一数値に等しく、

前記第一横方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第一数値に等しく、

前記第一垂直方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が前記歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、

前記第二制約条件が、第二順方向制約条件、第二横方向制約条件及び第二垂直方向制約条件を含み、

前記第二順方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値及び速度パラメータ値が共に0に等しく、

前記第二横方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が前記二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、

前記第二垂直方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が前記二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、

前記歩行制御パラメータが位置、速度及び加速度を含む場合、位置パラメータ、速度パラメータ及び加速度パラメータがいずれも、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、

前記第一順方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値がいずれも0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第一数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの順方向第一数値に等しく、前記第一横方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分であり、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第一数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの横方向第一数値に等しく、前記第一垂直方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、前記第二順方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第二数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの順方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に

10

20

30

40

50

、位置パラメータ値、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値がいずれも0に等しく、前記第二横方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第二数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの横方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が前記二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、前記第二垂直方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が前記二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しい、
ことを特徴とする請求項4に記載の歩行制御方法。

10

【請求項7】

前記第一制約条件及び前記第二制約条件に基づいて、前記質量中心の歩行開始段階及び歩行停止段階における運動軌跡をそれぞれ算出することが、前記質量中心の歩行開始段階終了時に満たす第一制約条件により、多項式補間を用いて、前記質量中心の歩行開始段階における運動軌跡を算出することと、前記質量中心の歩行停止段階開始時に満たす第二制約条件により、多項式補間を用いて、前記質量中心の歩行停止段階における運動軌跡を算出することと、を含む、
ことを特徴とする請求項1に記載の歩行制御方法。

20

【請求項8】

前記二足ロボットの歩行を制御することが、
角変位、角速度及び角加速度といった二足ロボットの肩関節の揺動角度の制御パラメータを選択することと、

前記二足ロボットの歩行中間段階において遊脚が揺動する開始時刻及び終了時刻で、遊脚に対応する肩関節の達したい角変位値、角速度値及び角加速度値のそれぞれによって、遊脚に対応する肩関節の満たすべき角度制約条件を設定することと、

前記角度制約条件により、多項式補間を用いて、歩行中間段階における肩関節が揺動する所定の角度軌跡を算出することと、

前記二足ロボットの歩行中間段階において遊脚が揺動する開始時刻で、遊脚に対応する肩関節の達したい角変位値、角速度値及び角加速度値を用いて、歩行開始段階における前記肩関節の満たすべき角度の第一制約条件、及び、歩行停止段階における前記肩関節の満たすべき角度の第二制約条件を設定することと、

30

前記角度の第一制約条件、前記角度の第二制約条件により、多項式補間を用いて、歩行開始段階における前記肩関節が揺動する所定の角度軌跡、及び、歩行停止段階における前記肩関節が揺動する所定の角度軌跡を算出することと、

前記二足ロボットの歩行時に、前記肩関節の回転角をリアルタイムに検出し、前記肩関節の上記各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された肩関節の回転角に対して適応トラッキング制御を行い、前記二足ロボットの安定的な歩行を実現することと、をさらに含む、

40

ことを特徴とする請求項2に記載の歩行制御方法。

【請求項9】

前記制御点の上記各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された制御点の回転角に対して適応トラッキング制御を行うことが、

二足ロボットの歩行時に実際に検出された各制御点の回転角から、その関節に対応する所定の角度を差し引いて、その差値を、比例積分微分角度コントローラ又は比例微分角度コントローラに入力して適応トラッキング制御を行い、各関節の入力トルクを得ることにより、前記入力トルクによって、ロボットの各関節が運動するように駆動する、

ことを特徴とする請求項2に記載の歩行制御方法。

【請求項10】

二足ロボットの一つの整った歩行が、歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階の

50

三つの段階を含み、歩行開始段階とは、ロボットが両足を揃えた静止立位状態から歩行を開始して安定的な周期性を有する歩行へ移行する段階であり、歩行中間段階とは、前記歩行開始段階の歩行から移行したロボットの安定した周期的な歩行段階であり、歩行停止段階とは、前記歩行中間段階の歩行から徐々に速度を下げて安定的な静止立位状態に戻るまでの段階であり、これらの歩行段階の制御を行う二足ロボットの歩行制御装置であって、

二足ロボットの歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における歩行制御パラメータを選択するとともに、二足ロボットのゼロモーメント点が安定領域内に位置する時の、前記二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡を取得するための質量中心歩行中間段階軌跡取得手段と、

前記歩行中間段階における質量中心の運動軌跡によって、質量中心の歩行中間段階開始時における各歩行制御パラメータの第一数値、及び、該質量中心の歩行中間段階終了時における各歩行制御パラメータの第二数値を得るためのパラメータ値取得手段と、

前記第一数値を用いて、歩行開始段階終了時の前記質量中心の満たすべき第一制約条件を設定し、前記第二数値を用いて、歩行停止段階開始時の前記質量中心の満たすべき第二制約条件を設定するための手段であって、第一制約条件として、歩行開始段階終了時刻の各歩行制御パラメータが歩行中間段階開始時刻の各歩行制御パラメータと同じになるものとし、第二制約条件として、歩行停止段階開始時刻の各歩行制御パラメータが歩行中間段階終了時刻の各歩行制御パラメータと同じになるものとする制約条件設定手段と、

前記第一制約条件及び前記第二制約条件に基づいて、前記質量中心の歩行開始段階及び歩行停止段階における運動軌跡をそれぞれ算出するための質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段と、

前記二足ロボットの歩行を制御することで、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が前記質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにして、前記二足ロボットの安定的な歩行を実現するための質量中心軌跡制御手段と、を含む、

ことを特徴とする二足ロボットの歩行制御装置。

【請求項 11】

前記質量中心軌跡制御手段が、足首関節軌跡算出モジュールと、股関節軌跡算出モジュールと、関節角度算出モジュールと、関節角度制御モジュールとを含み、

前記足首関節軌跡算出モジュールが、二足ロボットの足首関節の所定の運動高さによって、両脚の足首関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡を算出するために用いられ、前記股関節軌跡算出モジュールが、前記質量中心の各段階における運動軌跡によって、二足ロボットの股関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡を算出するために用いられ、前記関節角度算出モジュールが、前記股関節及び足首関節の各段階における運動軌跡、二足ロボットの脚部の構造位置関係、及び、脚部の長さの数値によって、前記股関節、足首関節、膝関節の各段階における所定の角度軌跡を算出するために用いられ、前記関節角度制御モジュールが、股関節、足首関節及び膝関節のうちの一つ又は複数を制御点として選択して、二足ロボットの歩行時に、前記制御点の回転角をリアルタイムに検出し、前記制御点の上記各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された制御点の回転角に対して適応トラッキング制御を行い、これにより、二足ロボットの歩行時の前記質量中心の運動軌跡が該質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにするために用いられる、

ことを特徴とする請求項 10 に記載の歩行制御装置。

【請求項 12】

前記質量中心歩行中間段階軌跡取得手段で取得した歩行制御パラメータの各パラメータが、いずれも、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、そのうち、該歩行制御パラメータが位置と速度を含み、或いは、該歩行制御パラメータが位置、速度及び加速度を含む、

ことを特徴とする請求項 10 に記載の歩行制御装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 3】

前記質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段が、さらに、達したい歩行中間段階開始時における質量中心の初期速度、及び、運動エネルギーと位置エネルギーとの変換関係によって、歩行開始段階終了時における二足ロボットの質量中心の垂直方向での高さHzを算出するために用いられ、前記質量中心歩行中間段階軌跡取得手段で取得した前記二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡は、歩行中間段階開始時及び歩行中間段階終了時における前記質量中心の垂直方向での高さが共にHzであるという条件を満たす、

ことを特徴とする請求項 1 2 に記載の歩行制御装置。

【請求項 1 4】

前記パラメータ値取得手段が、さらに、角変位、角速度及び角加速度といった二足ロボットの肩関節の揺動角度の制御パラメータを選択するために用いられ、

前記制約条件設定手段が、さらに、前記二足ロボットの歩行中間段階において遊脚が揺動する開始時刻及び終了時刻で、遊脚に対応する肩関節の達したい角変位値、角速度値及び角加速度値のそれぞれによって、遊脚に対応する肩関節の満たすべき角度制約条件を設定するために用いられ、

前記質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段が、さらに、前記角度制約条件により、多項式補間を用いて、歩行中間段階における肩関節が揺動する所定の角度軌跡を算出するために用いられ、

前記制約条件設定手段が、さらに、前記二足ロボットの歩行中間段階において遊脚が揺動する開始時刻で、遊脚に対応する肩関節の達したい角変位値、角速度値及び角加速度値を用いて、歩行開始段階における前記肩関節の満たすべき角度の第一制約条件、及び、歩行停止段階における前記肩関節の満たすべき角度の第二制約条件を設定するために用いられ、

前記質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段が、さらに、前記角度の第一制約条件、前記角度の第二制約条件により、多項式補間を用いて、歩行開始段階における前記肩関節が揺動する所定の角度軌跡、及び、歩行停止段階における前記肩関節が揺動する所定の角度軌跡を算出するために用いられ、

前記質量中心軌跡制御手段が、さらに、前記二足ロボットの歩行時に、前記肩関節の回転角をリアルタイムに検出し、前記肩関節の上記各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された肩関節の回転角に対して適応トラッキング制御を行い、前記二足ロボットの安定的な歩行を実現するために用いられる、

ことを特徴とする請求項 1 1 に記載の歩行制御装置。

【請求項 1 5】

前記質量中心歩行中間段階軌跡取得手段で選択した前記歩行制御パラメータが、位置と速度である場合、位置パラメータと速度パラメータが共に、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、

歩行開始段階終了時の質量中心の満たす前記第一制約条件が、第一順方向制約条件、第一横方向制約条件及び第一垂直方向制約条件を含み、前記第一順方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値及び速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第一数値に等しく、前記第一横方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第一数値に等しく、前記第一垂直方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が前記歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、

前記第二制約条件が、第二順方向制約条件、第二横方向制約条件及び第二垂直方向制約

10

20

30

40

50

条件を含み、

前記第二順方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値及び速度パラメータ値が共に0に等しく、前記第二横方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が前記二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、前記第二垂直方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時に垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が前記二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、

10

前記質量中心歩行中間段階軌跡取得手段で選択した前記歩行制御パラメータが、位置、速度及び加速度を含む場合、位置パラメータ、速度パラメータ及び加速度パラメータがいずれも、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、前記第一順方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値がいずれも0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第一数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの順方向第一数値に等しく、前記第一横方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分であり、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第一数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの横方向第一数値に等しく、前記第一垂直方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、

20

前記第二順方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第二数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの順方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値がいずれも0に等しく、

30

前記第二横方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第二数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの横方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が前記二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、前記第二垂直方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が前記二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しい、

ことを特徴とする請求項 1 3 に記載の歩行制御装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボット技術分野に関し、具体的に、二足ロボットの歩行制御方法及び歩行制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

50

二足ロボットは、人の脚の構造と運動形式を模倣するロボットシステムであり、人の脚の運動特性を有し、歩行中に地面と複雑な相互作用を持ち、二足ロボットの歩行時に、安定的な制御に対する要求がより高い。そのため、合理的な歩行制御は、二足ロボットが人間を模倣して安定的な動的歩行を行うことを実現する前提条件である。二足ロボットの一つの整った歩行が、歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階の三つの段階を含む。歩行開始段階と歩行停止段階が歩行制御において非常に肝心な部分であり、ロボットが首尾よく歩行状態に入り、歩行状態を終了させることができるか否かに関わる。しかし、現在では、二足ロボットに関する研究は、主に、歩行中間段階の歩行制御に集中しており、歩行開始段階と歩行停止段階の歩行制御に関する研究が少ない。また、従来技術において、歩行開始段階と歩行停止段階で歩行の安定性が悪く、歩行状態に安定的に入り、歩行状態を安定的に終了させることができない。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

本発明では、従来の二足ロボットの歩行制御に存在する、歩行開始段階と歩行停止段階で歩行の安定性が悪く、歩行状態に安定的に入り、歩行状態を安定的に終了させることができないという問題を解決するために、二足ロボットの歩行制御方法及び歩行制御装置が提供されている。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の一つの局面によれば、二足ロボットの歩行制御方法が提供されており、
二足ロボットの一つの整った歩行が、歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階の三つの段階を含み、歩行開始段階とは、ロボットが両足を揃えた静止立位状態から歩行を開始して安定的な周期性を有する歩行へ移行する段階であり、歩行中間段階とは、前記歩行開始段階の歩行から移行したロボットの安定した周期的な歩行段階であり、歩行停止段階とは、前記歩行中間段階の歩行から徐々に速度を下げて安定的な静止立位状態に戻るまでの段階であり、これらの歩行段階の制御を行う二足ロボットの歩行制御方法であって、

20

二足ロボットの歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における歩行制御パラメータを選択するとともに、二足ロボットのゼロモーメント点が安定領域内に位置する時の、前記二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡を取得するステップと、

30

前記歩行中間段階における前記質量中心の運動軌跡によって、該質量中心の歩行中間段階開始時における各歩行制御パラメータの第一数値、及び、該質量中心の歩行中間段階終了時における各歩行制御パラメータの第二数値を得るステップと、

前記第一数値を用いて、歩行開始段階終了時の前記質量中心の満たすべき第一制約条件を設定し、前記第二数値を用いて、歩行停止段階開始時の前記質量中心の満たすべき第二制約条件を設定するものであって、第一制約条件として、歩行開始段階終了時刻の各歩行制御パラメータが歩行中間段階開始時刻の各歩行制御パラメータと同じになるものとし、
第二制約条件として、歩行停止段階開始時刻の各歩行制御パラメータが歩行中間段階終了時刻の各歩行制御パラメータと同じになるものとするステップと、

前記第一制約条件及び前記第二制約条件に基づいて、前記質量中心の歩行開始段階及び歩行停止段階における運動軌跡をそれぞれ算出するステップと、

40

前記二足ロボットの歩行を制御することで、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が前記質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにして、前記二足ロボットの安定的な歩行を実現するステップと、を含む。

【0005】

本発明のもう一つの局面によれば、二足ロボットの歩行制御装置が提供されており、
二足ロボットの一つの整った歩行が、歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階の三つの段階を含み、歩行開始段階とは、ロボットが両足を揃えた静止立位状態から歩行を開始して安定的な周期性を有する歩行へ移行する段階であり、歩行中間段階とは、前記歩行開始段階の歩行から移行したロボットの安定した周期的な歩行段階であり、歩行停止段

50

階とは、前記歩行中間段階の歩行から徐々に速度を下げた安定的な静止立位状態に戻るまでの段階であり、これらの歩行段階の制御を行う二足ロボットの歩行制御装置であって、

二足ロボットの歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における歩行制御パラメータを選択するとともに、二足ロボットのゼロモーメント点が安定領域内に位置する時の、前記二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡を取得するための質量中心歩行中間段階軌跡取得手段と、

前記歩行中間段階における質量中心の運動軌跡によって、質量中心の歩行中間段階開始時における各歩行制御パラメータの第一数値、及び、該質量中心の歩行中間段階終了時における各歩行制御パラメータの第二数値を得るためのパラメータ値取得手段と、

前記第一数値を用いて、歩行開始段階終了時の前記質量中心の満たすべき第一制約条件を設定し、前記第二数値を用いて、歩行停止段階開始時の前記質量中心の満たすべき第二制約条件を設定するための手段であって、第一制約条件として、歩行開始段階終了時刻の各歩行制御パラメータが歩行中間段階開始時刻の各歩行制御パラメータと同じになるものとし、第二制約条件として、歩行停止段階開始時刻の各歩行制御パラメータが歩行中間段階終了時刻の各歩行制御パラメータと同じになるものとする制約条件設定手段と、

前記第一制約条件及び前記第二制約条件に基づいて、前記質量中心の歩行開始段階及び歩行停止段階における運動軌跡をそれぞれ算出するための質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段と、

前記二足ロボットの歩行を制御することで、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が前記質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにして、前記二足ロボットの安定的な歩行を実現するための質量中心軌跡制御手段と、を含む。

【発明の効果】

【0006】

本発明の有益な効果としては、本発明の実施例による二足ロボットの歩行制御は、まず二足ロボットの歩行制御パラメータを選択するとともに、二足ロボットのゼロモーメント点ZMPが安定領域内に位置する時の、質量中心の歩行中間段階における運動軌跡、及び、各歩行制御パラメータの対応する第一数値と第二数値を取得し、そして、前記第一数値を用いて質量中心の歩行開始段階における運動軌跡を決定するとともに、前記第二数値を用いて質量中心の歩行停止段階における運動軌跡を算出し、これにより、歩行制御パラメータによって、歩行開始段階、歩行停止段階がそれぞれ歩行中間段階と連続的に繋がることを実現し、また、歩行中間段階でZMPという条件により限定されることで、ロボットの安定的な歩行が保証され、こうして、歩行制御パラメータによって、歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階が合理的に繋がり、各段階がいずれも安定歩行条件を満たすようになり、二足ロボットの運動の全段階での安定的な歩行が保証される。なお、本発明によれば、ロボットの質量中心が安定歩行を満たすことを保証した上で、質量中心の運動軌跡に基づいて、脚部の各関節の歩行への新たな制御技術が提供されており、このような制御技術では、歩行過程の安定性をさらに向上させ、歩行過程全体の効率を高め、歩行過程の安定的な開始及び終了を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本発明の一実施例による二足ロボットの歩行制御方法の流れの模式図である。

【図2】本発明の一実施例による二足ロボットの九連接棒モデルの順方向図である。

【図3】本発明の一実施例による二足ロボットの九連接棒モデルの横方向図である。

【図4】本発明の一実施例による二足ロボットの歩行位置の投影模式図である。

【図5】線形倒立振子モデルの原理模式図である。

【図6】本発明の一実施例による二足ロボットの支持脚の順方向模式図である。

【図7】本発明の一実施例による二足ロボットの遊脚の順方向模式図である。

【図8】本発明の一実施例による二足ロボットの両脚の横方向模式図である。

【図9】本発明の一実施例による二足ロボットの肩関節の揺動角度の模式図である。

【図10】本発明の一実施例による二足ロボットの関節角度制御構造の模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

本発明の実施例による技術では、二足ロボットの安定的な歩行の整った歩行制御技術が提案されており、安定的な歩行開始及び歩行停止をより有効に実現することができる。そして、ゼロモーメント点が常に安定領域内にあることを満たすという前提で、歩行中間段階における運動軌跡を得て、歩行開始段階、歩行停止段階及び歩行中間段階における運動軌跡を、位置、速度及び/又は加速度の点で合理的に繋ぐことにより、歩行開始段階及び歩行停止段階の両段階共に安定性条件を満たすことができるのが保証される。また、本技術は、ロボットの運動時の位置エネルギーと運動エネルギーとの間の変換を利用して、通常

10

【0009】

図1は、本発明の一実施例による二足ロボットの歩行制御方法の流れの模式図であり、図1を参照して、本実施例において、二足ロボットの歩行制御方法が、下記のステップS11～ステップS15を含んでいる。

【0010】

ステップS11では、二足ロボットの歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における歩行制御パラメータを選択するとともに、二足ロボットのゼロモーメント点（Zero Moment Point、“ZMP”と略称する）が安定領域内に位置する時の、二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡を取得し、

20

ステップS12では、歩行中間段階における質量中心の運動軌跡により、質量中心の歩行中間段階開始時における各歩行制御パラメータの第一数値、及び、質量中心の歩行中間段階終了時における各歩行制御パラメータの第二数値を得て、

ステップS13では、第一数値を用いて歩行開始段階終了時の質量中心の満たすべき第一制約条件を設定し、第二数値を用いて歩行停止段階開始時の質量中心の満たすべき第二制約条件を設定し、

ステップS14では、第一制約条件及び第二制約条件に基づいて、質量中心の歩行開始段階及び歩行停止段階における運動軌跡をそれぞれ算出し、

30

ステップS15では、二足ロボットの歩行を制御することで、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が前記質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにして、前記二足ロボットの安定的な歩行を実現する。

【0011】

図1に示すものに基づいて、ステップS11において、歩行制御パラメータが、位置、速度及び加速度の三種類のパラメータを含み、或いは、歩行制御パラメータが、位置と速度の二種類のパラメータを含む。そして、歩行制御パラメータの各パラメータが、いずれも、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含む。

【0012】

図1に示す方法から分かるように、本実施例による二足ロボットの歩行制御方法は、二足ロボットの歩行開始段階及び歩行停止段階の両段階における質量中心の運動軌跡に対して制御を行い、制御を行うことにより、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が前記質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにし、二足ロボットの安定的な歩行を実現する。取得された歩行中間段階における質量中心の運動軌跡が安定歩行条件を満たしているため、歩行中間段階における質量中心の運動軌跡によって決定された歩行制御パラメータの対応数値を用いて、歩行開始段階及び歩行停止段階における質量中心の運動軌跡を制御することによっても、安定性を保証することができる。つまり、従来技術と比べて、本実施例の方法が、歩行開始段階及び歩行停止段階における安定性を保証すると共に、歩行開始段階と歩行中間段階と、及び、歩行中間段階と歩行停止段階とをよりよく繋ぐことができる。二足ロボットが一つの整った歩行

40

50

過程において安定的に歩行できることが実現される。

【0013】

以下、具体的な二足ロボットモデルを用いて、本発明の実施例によるこのような二足ロボットの歩行制御方法について説明を行う。

【0014】

図2は、本発明の一実施例による二足ロボットの九接続棒モデルの順方向図であり、図3は、本発明の一実施例による二足ロボットの九接続棒モデルの横方向図であり、図4は、本発明の一実施例による二足ロボットの歩行位置の投影モード図である。図2から図4を参照すると、図2には、P1~P9がそれぞれ二足ロボットの異なる部位を表し、例えば、P8、P9が二足ロボットの左、右の腕を表す。m1~m7がそれぞれ接続棒の質量を表す。本実施例において、二足ロボットの歩行する前進方向をx軸（即ち順方向）、二足ロボットの歩行する横方向をy軸（例えば歩行する右横方向）、地面と垂直に上に向く方向をz軸として、デカルト座標系を構築する。図2と図3に示すのは、九本の均質の接続棒及び関節によって構成された二足ロボットの簡略モデルの順方向図（即ちxoz平面）と横方向図（即ちyoz平面）であり、そのうち、二足ロボットの片方の肩関節に一つの前後の揺動自由度を持ち、片脚の足首関節に前後と左右の二つの揺動自由度を持ち、片脚の膝関節に一つの前後自由度を持ち、股関節に左右、前後及び回転の三つの自由度を持つ。

【0015】

なお、二足ロボットの各歩行位置において、二足ロボットの支持脚の足首関節の地面での投影を座標原点とし、水平前進方向をX軸とし、歩行する横方向をY軸として、二足ロボット自身の平面直角座標系（XOY）を構築する。二足ロボットが連続的に歩行している歩行中間段階において、各片脚の支持期間の終止時刻で、遊脚に連結された脚が合理的な位置に揺動すると、二足ロボットの質量中心に新たな支持点が現れる。そして、この新たな支持点を座標原点とし、水平前進方向をX軸とし、歩行する横方向をY軸として、二足ロボット自身の平面直角座標系（XOY）を構築し、前の支持点の終止状態を初期状態とすることにより、ロボットがまた一つの新たなシングルステップを開始させ、これらのシングルステップを繋げれば、ロボットの連続歩行モードが形成される。図4に示すように、最初は、右支持脚の足首関節の地面での投影を座標原点とする（即ち、0点が、二足ロボットの右脚の平面直角座標系での投影を表し、0点とY軸方向にて所定距離離れた点が、二足ロボットの左脚の平面直角座標系での投影を表す）。それに対応して、X軸における点が、二足ロボットの歩行時の右支持脚の運動軌跡を表し、X軸の左側にあり且つX軸と所定距離離れた点が、左支持脚の運動軌跡を表す。

【0016】

本発明の一実施例において、歩行制御パラメータについて位置、速度及び加速度を例として説明を行う。二足ロボットの歩行制御には、その安定性を考慮しなければならず、本実施例では、ゼロモーメント点（Zero Moment Point、“ZMP”と略称する）を用いて二足ロボットの動的歩行の安定性の一つの重要な根拠とする。ZMPは、ロボットが受けた合力が支持脚の足底にかかる作用点であり、また、この点で合力のモーメントが水平方向でゼロである。二足ロボットの安定的な歩行を保証するためには、歩行過程のうちの任意の時刻でもZMPが常に安定領域内にあることを保証しなければならない。安定領域が、即ち、支持脚によって構成された凸形領域の水平面での投影である。

【0017】

以下、三つの段階に分けて、二足ロボットが一つの整った歩行過程で、本発明の歩行制御方法を適用して制御を行う具体的な実現過程を説明する。

【0018】

（一）歩行中間段階における質量中心の運動軌跡への制御

歩行中間段階が、二足ロボットの安定した周期的な歩行段階であり、一つの整ったシングルステップが、片脚支持期間（時間を T_1 とする）と両脚支持期間（時間を T_2 とする）とに分かれており、歩行中間段階の全体において、周期的に現れる片脚支持期間と両脚支持期間とが複数ある。本実施例において、ロボットの歩行時に安定性条件（即ち、ゼロモー

10

20

30

40

50

メント点（ZMP）が常に安定領域内にあること）を満たすことを保証するために、片脚支持期間にも両脚支持期間にも線形倒立振子モデルを用いて質量中心の軌跡を制御する。しかし、本発明は、線形倒立振子モデルに限るものではなく、他のモデルを用いて質量中心の運動軌跡を算出してもよい。

【0019】

二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡を取得した後、この運動軌跡によって、質量中心の歩行中間段階開始時における各歩行制御パラメータの数値を取得して第一数値とし、質量中心の歩行中間段階終了時における各歩行制御パラメータの数値を取得して第二数値とし、より具体的に、二足ロボットの下記情報を取得することであり、即ち、歩行中間段階開始時の質量中心に関して、質量中心の座標系のx軸方向における位置 $X_d(0)$ 、速度 $\dot{X}_d(0)$ 及び加速度 $\ddot{X}_d(0)$ を取得し、y軸方向における位置 $Y_d(0)$ 、速度 $\dot{Y}_d(0)$ 及び加速度 $\ddot{Y}_d(0)$ を取得し、歩行中間段階終了時の質量中心に関して、質量中心の座標系のx軸方向における位置 $X_s(0)$ 、速度 $\dot{X}_s(0)$ 及び加速度 $\ddot{X}_s(0)$ を取得し、y軸方向における位置 $Y_s(0)$ 、速度 $\dot{Y}_s(0)$ 及び加速度 $\ddot{Y}_s(0)$ を取得することである。

10

歩行中間段階の全体で歩行の安定性を維持し、二足ロボットの質量中心の高さが変わらない、即ち、質量中心のz軸方向における位置が変わらないように設定すると、速度及び加速度が共に0に等しいため、z軸方向における運動軌跡は予め知ることができる。歩行中間段階で質量中心の高さが変化する場面については、歩行中間段階開始時及び終了時の質量中心の高さ（即ち、z軸方向における具体的な数値）を取得する必要がある。

20

【0020】

本実施例において、上記の第一数値及び第二数値が、線形倒立振子モデルの計算結果から取得されたものである。ところが、線形倒立振子モデルを構築すること、及び、線形倒立振子モデルによって算出することは、本発明の実施例の重点ではなく、従来技術によって実現することができ、その具体的なアルゴリズムについては繰り返して説明せず、以下に簡単に説明する。二足ロボットの歩行運動の安定性を向上させるために、両脚支持期間のロボットを仮想の線形倒立振子モデルに簡略化する。図5は、本実施例に用いられた線形倒立振子モデルの原理模式図であり、図5に示すように、このモデルは、ロボットの運動のZMPを仮想支点とし、ロボットの質量中心51を線形倒立振子モデルの質点とし、支持脚52、支持脚53を両脚支持期間におけるロボットの二つの支持脚として、ZMPが即ち倒立振子モデルの仮想支点であり、二つの支持脚の間に位置する。倒立振子モデルの特徴は、質量中心の高さが変わらないように維持し、揺動棒の下端がモーメントを提供しないことである。即ち、歩行中間段階では、二足ロボットの質量中心の垂直方向での高さが変わらなく、所定値Hzである。

30

【0021】

本実施例では、まず両脚支持期間におけるZMPの運動軌跡を計画し、そして質量中心の運動軌跡を求める。このように、ZMPが前の支持足から次の支持足へと滑らかに移すことを保証することもできるし、質量中心の速度変化の連続性を保証することもでき、これにより、ロボットの歩行運動の安定性が高まる。

40

【0022】

図5に示すように、両脚支持期間において質量中心のx軸方向及びy軸方向の運動方程式は、下記の通りである。

$$\ddot{x} = \frac{g}{H_z}(x - x_{ZMP}) \quad \text{式 (1)}$$

$$\ddot{y} = \frac{g}{H_z}(y - y_{ZMP}) \quad \text{式 (2)}$$

そのうち、式 (1) における x_{ZMP} が ZMP の x 軸座標であり、式 (2) における y_{ZMP} が ZMP の y 軸座標であり、 H_z が質量中心の歩行中間段階における高さであり、 g が重力加速度である。

10

【 0 0 2 3 】

二足ロボットの片脚支持期間では、支持足が即ちZMPの位置であり、すると、 $x_{ZMP} = 0$ 、且つ、 $y_{ZMP} = 0$ 。片脚支持期間では、質量中心の x 軸方向及び y 軸方向の運動方程式は、下記の通りである。

$$\ddot{x} = \frac{g}{H_z}x \quad \text{式 (3)}$$

$$\ddot{y} = \frac{g}{H_z}y \quad \text{式 (4)}$$

20

【 0 0 2 4 】

両脚支持期間では、ZMPがロボットの両足によって形成された支持領域内で滑らかに移動するように、

ZMP の位置 x_{ZMP} と y_{ZMP} を支持領域内で予め合理的に計画する必要がある。

また、両脚支持期間と片脚支持期間との間の境界条件の制約関係をうまく処理しなければならず、即ち、式 (1)、(2) と式 (3)、(4) との間の境界を連続的に維持させなければならない、これにより、それらの間で滑らかに移行できることを保証する。

【 0 0 2 5 】

30

上記式 (1) から (4) によって、歩行中間段階において両脚支持期間開始時刻の質量中心の x 軸方向及び y 軸方向における軌跡を求めることができると共に、

両脚支持期間開始時刻の位置、速度及び加速度という各歩行制御パラメータのそれぞれに

対応する第一数値 $X_d(0)$ 、 $\dot{X}_d(0)$ 、 $\ddot{X}_d(0)$ 、 $Y_d(0)$ 、 $\dot{Y}_d(0)$ 、 $\ddot{Y}_d(0)$ 、及び、片脚支持期間開始時刻の位置、速度及び加速度という各歩行制御パラメータのそれぞれに対応する第二数値 $X_s(0)$ 、 $\dot{X}_s(0)$ 、 $\ddot{X}_s(0)$ 、 $Y_s(0)$ 、 $\dot{Y}_s(0)$ 、 $\ddot{Y}_s(0)$ を求めることができ、

そして、取得された第一数値と第二数値を、歩行開始段階及び歩行停止段階における質量中心の運動軌跡への制御に用いる。

40

【 0 0 2 6 】

(二) 歩行開始段階における質量中心の運動軌跡への制御

歩行開始段階とは、ロボットが、両足を揃えた静止立位状態から安定的な周期性を有する歩行中間段階の歩行へ移行する移行段階である。この段階の時間を T_1 とする。歩行開始段階終了時の質量中心の満たす第一制約条件が、第一順方向制約条件 (即ち、x 軸方向の制約条件)、第一横方向制約条件 (即ち、y 軸方向の制約条件) 及び第一垂直方向制約条件 (即ち、z 軸方向の制約条件) を含む。

【 0 0 2 7 】

[z 軸方向における質量中心の運動軌跡への制御]

歩行開始段階では、ロボットが静止から歩行速度まで加速する必要があるので、システ

50

ムのエネルギー消費を削減するために、本発明の実施例は、機械エネルギー保存の法則により、ロボットの重心を低下させることにより、位置エネルギーをできる限り運動エネルギーに変換して、ロボットがより早く歩行中間段階に入ることができる（即ち、一步内で歩行を開始するという有益な効果を実現する）。本実施例において、達したい歩行中間段階開始時（ここでの歩行中間段階開始時とは、歩行開始段階と一番近く繋がる両脚支持期間の開始時刻を指す）における質量中心の初期速度、及び、運動エネルギーと位置エネルギーとの変換関係によって、歩行開始段階終了時の二足ロボットの質量中心の垂直方向での高さ H_z を算出する。具体的に、下記の式（5）によって、重心が低下する大体の距離 z を先に推定しておく。

$$mg\Delta z = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_0^2)$$

式 (5)

10

そのうち、質量中心の歩行開始段階における初期速度 $v_0 = 0$ であり、 v_1 が歩行開始段階における質量中心の最終速度であり、達したい歩行中間段階開始時における質量中心の初期速度（数値の大小が、実際のニーズに応じて設定可能）でもあり、 m がロボットの質量であり、 g が重力加速度である。

【 0 0 2 8 】

歩行中間段階で線形倒立振子モデルを用いて質量中心の運動軌跡の算出を行うので、歩行中間段階では、質量中心の高さが変わらないように維持しなければならない、即ち、歩行開始段階終了時刻の質量中心の高さ H_z に等しい。質量中心の第一垂直方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、加速度パラメータ値が0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さ H_z に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、加速度パラメータ値が0に等しい。これから分かるように、歩行開始段階終了時刻で z 軸方向においてロボットの質量中心の満たすべき第一制約条件は、下記の通りである。

20

$$\begin{cases} Z(0) = H_{z_0} \\ \dot{Z}(0) = 0 \\ \ddot{Z}(0) = 0 \\ Z(T_1) = H_z \\ \dot{Z}(T_1) = 0 \\ \ddot{Z}(T_1) = 0 \end{cases}$$

式 (6)

30

そのうち、 $Z(t)$ が質量中心の z 軸方向における位置、 $\dot{Z}(t)$ が質量中心の z 軸方向の速度、 $\ddot{Z}(t)$ が質量中心の z 軸方向の加速度、 t が時間、 H_{z_0} が二足ロボットの質量中心の初期高さ（即ち、 $t=0$ 時の高さ）、 H_z が歩行開始段階終了時刻（即ち $t=T_1$ 時）の質量中心の高さである。

【 0 0 2 9 】

なお、式（6）における質量中心の歩行開始段階終了時刻の高さ H_z は、質量中心の初期高さ H_{z_0} と低下距離 z との差値によって決定されてもよいし、この差値との差が所定値以下となる範囲内での一つの値であってもよい。即ち、 H_z の具体的な数値が、 H_{z_0} から z を差し引いて得られた差値に等しくてもよく、この差値付近の一つの値に等しくてもよく、一つの好ましい値を取得して歩行の安定性が保証できればよく、これに対して制限しない。各歩行制御パラメータの第一数値が、式（6）における各等式の右辺の数値付近の、偏差があまり大きくない他の数値を取ることが可能であるのが理解できる。

40

【 0 0 3 0 】

歩行開始段階終了時刻における質量中心の z 軸方向で満たす第一制約条件が得られた後、多項式補間を用いて、該第一制約条件により、質量中心の z 軸方向における軌跡 $Z(t)$ が

50

下記のように得られる。

$$Z(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \quad \text{式 (7)}$$

ここで、 a_0 から a_5 が具体的なパラメータであり、

式 (6) における対応するパラメータ値を式 (7) に代入すると、質量中心のz軸方向における時間tにつれて変化する軌跡を算出することができる。

【 0 0 3 1 】

実際の適用時、質量中心のz軸方向における時間tにつれて変化する軌跡を算出するために、まず式 (7) に対して一次導関数を求めてもよく、こうして、質量中心のZ方向での速度が下記のように得られる。

$$\dot{Z}(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 + 4a_4 t^3 + 5a_5 t^4 \quad \text{式 (7.1)}$$

そして、式 (7.1) に対して再び一次導関数を求め、質量中心のZ方向での加速度が下記のように得られる。

$$\ddot{Z}(t) = 2a_2 + 6a_3 t + 12a_4 t^2 + 20a_5 t^3 \quad \text{式 (7.2)}$$

式 (6) における対応するパラメータ値を式 (7)、式 (7.1) 及び式 (7.2) にそれぞれ代入すると、6つの方程式によって構成された方程式セットが得られ、該方程式セットを解くことにより、パラメータ $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ が得られ、こうして、式 (7) によって、質量中心のz軸方向における時間tにつれて変化する軌跡を算出することが実現される。

【 0 0 3 2 】

〔 x軸方向における質量中心の運動軌跡 〕

x軸方向において、質量中心の満たす第一順方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値がいずれも0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第一数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの順方向第一数値に等しく、即ち、質量中心の初期時刻の位置、速度及び加速度がいずれも0であり、歩行開始段階終了時刻で、質量中心が支持点から一番遠く離れ、このときロボットが依然として安定条件（即ち、ZMPが支持領域内にある）を満たすことが保証されると、歩行開始段階の全体で二足ロボットが安定することになる。従って、本発明の実施例では、歩行開始段階終了時刻の位置、速度及び加速度が、歩行中間段階の両脚支持期間における初期位置、速度及び加速度と同じになるように設定することにより、歩行開始段階の歩行から歩行中間段階の歩行への滑らかな移行を保証する。歩行中間段階で、線形倒立振子モデルを用いて歩行制御を行い、安定性条件を満たしているため、これにより、歩行開始段階も安定性条件を満たすと保証することができる。これから分かるように、質量中心のx軸方向で満たすべき第一制約条件は、下記の通りである。

$$\begin{cases} X(0) = 0 \\ \dot{X}(0) = 0 \\ \ddot{X}(0) = 0 \\ X(T_1) = X_d(0) \\ \dot{X}(T_1) = \dot{X}_d(0) \\ \ddot{X}(T_1) = \ddot{X}_d(0) \end{cases} \quad \text{式 (8)}$$

【 0 0 3 3 】

10

20

30

40

そのうち、 $X(0)$ 、 $\dot{X}(0)$ 及び $\ddot{X}(0)$ が、それぞれ、歩行開始段階開始時刻で二足ロボットの質量中心のx軸方向における位置、速度及び加速度であり、 $X(T_1)$ 、 $\dot{X}(T_1)$ 及び $\ddot{X}(T_1)$ が、歩行開始段階終了時刻で二足ロボットの質量中心のx軸方向における位置、速度及び加速度であり、 $X(T_1)$ 、 $\dot{X}(T_1)$ 及び $\ddot{X}(T_1)$ の値が、前記歩行中間段階で算出された、質量中心の両脚支持期間開始時刻のx軸方向における位置 $X_a(0)$ 、速度 $\dot{X}_a(0)$ 及び加速度 $\ddot{X}_a(0)$ である。

10

【 0 0 3 4 】

歩行開始段階終了時刻における質量中心のx軸方向で満たす第一制約条件が得られた後、多項式補間を用いて、式(8)により、質量中心のx軸方向における軌跡 $X(t)$ が下記のように得られる。

$$X(t) = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5 \quad \text{式 (9)}$$

ここで、 b_0 から b_5 が具体的なパラメータであり、式(8)における対応するパラメータ値を式(9)に代入すると、質量中心のx軸方向における時間 t につれて変化する軌跡を算出することができる。

【 0 0 3 5 】

20

〔y軸方向における質量中心の運動軌跡〕

本実施例において、説明の便宜上、二足ロボットの両足間の距離を W とする。質量中心の満たす第一横方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、加速度パラメータ値が0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第一数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの横方向第一数値に等しく、即ち、歩行開始段階初期時刻で、質量中心が両足間の距離の中間位置にあり、速度及び加速度が共に0である。歩行開始段階終了時刻では、質量中心が支持点から一番遠く離れ、本発明の実施例では、y軸方向におけるこのときの位置、速度及び加速度が、歩行中間段階の両脚支持期間開始時ににおける位置、速度及び加速度と同じになるように設定することにより、互いの間で滑らかに移行することを保証するとともに、歩行開始段階も安定性条件を満たすことを保証する。これにより、質量中心のy軸方向で満たすべき第一制約条件は、下記の通りである。

30

$$\begin{cases} Y(0) = W / 2 \\ \dot{Y}(0) = 0 \\ \ddot{Y}(0) = 0 \\ Y(T_1) = Y_a(0) \\ \dot{Y}(T_1) = \dot{Y}_a(0) \\ \ddot{Y}(T_1) = \ddot{Y}_a(0) \end{cases} \quad \text{式 (10)}$$

40

【 0 0 3 6 】

そのうち、 $Y(0)$ 、 $\dot{Y}(0)$ 及び $\ddot{Y}(0)$ が、それぞれ、歩行開始段階初期時刻で質量中心の位置、速度及び加速度であり、 $Y(T_1)$ 、 $\dot{Y}(T_1)$ 及び $\ddot{Y}(T_1)$ が、それぞれ、歩行開始段階終了時刻で二足ロボットの質量中心のy軸方向における位置、速度及び加速度であり、 $Y(T_1)$ 、 $\dot{Y}(T_1)$ 及び $\ddot{Y}(T_1)$ の数値が、前記歩行中間段階で算出された、両脚支持期間開始時の質量中心のy軸方向における位置 $Y_a(0)$ 、速度 $\dot{Y}_a(0)$ 及び加速度 $\ddot{Y}_a(0)$ である。

10

【0037】

歩行開始段階終了時刻における質量中心のy軸方向で満たす第一制約条件が得られた後、多項式補間方法を用いて、式(10)の制約条件により、質量中心のy軸方向における軌跡 $y(t)$ が下記のように得られる。

$$y(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 + c_5 t^5 \quad \text{式(11)}$$

ここで、 c_0 から c_5 が具体的なパラメータであり、式(10)における対応するパラメータ値を式(11)に代入すると、質量中心のy軸方向における時間 t につれて変化する軌跡が算出される。

【0038】

20

(三) 歩行停止段階における質量中心の運動軌跡への制御

歩行停止段階とは、ロボットが、安定的で周期的な歩行中間段階の歩行から、徐々に速度を下げて、安定的な静止立位状態に戻るまでの過程である。この段階の時間を T_1 とする。質量中心の満たすべき第二制約条件が、第二順方向制約条件(即ち、x軸方向の制約条件)、第二横方向制約条件(即ち、y軸方向の制約条件)及び第二垂直方向制約条件(即ち、z軸方向の制約条件)を含む。

【0039】

[z軸方向における質量中心の運動軌跡]

歩行停止段階では、z軸方向において、質量中心の第二垂直方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の垂直方向での高さ H_z に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、加速度パラメータ値が0に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、加速度パラメータ値0に等しい。ロボットが歩行中間段階の歩行速度から0まで減速する必要があるので、歩行停止過程を速めるために、歩行停止段階と歩行開始段階とはエネルギー変換の方向が反対となっており、機械エネルギー保存の法則により、本発明の実施例は、ロボットの重心を高め、即ち、歩行中間段階の質量中心の高さ H_z から歩行開始段階開始時の高さ H_{z0} まで高めることで、運動エネルギーをできる限り位置エネルギーに変換し、ロボットがより早く安定的な静止状態に入るようにする(即ち、一歩内で歩行を停止するという有益な効果を実現する)。

30

【0040】

40

z軸方向において、歩行の安定性を実現するために、本発明の実施例では、歩行停止段階初期時刻の位置、速度及び加速度が、歩行中間段階終了時刻(即ち片脚支持期間開始時)における質量中心の位置、速度及び加速度と同じになるように設定する。従って、歩行停止段階開始時刻におけるロボットの質量中心のz軸方向で満たすべき第二制約条件が下記のように得られる。

$$\begin{cases} Z(0) = Z_c \\ \dot{Z}(0) = 0 \\ \ddot{Z}(0) = 0 \\ Z(T_1) = Z_{c_0} \\ \dot{Z}(T_1) = 0 \\ \ddot{Z}(T_1) = 0 \end{cases} \quad \text{式 (12)}$$

【 0 0 4 1 】

そのうち、 $Z(0)$ 、 $\dot{Z}(0)$ 及び $\ddot{Z}(0)$ が、それぞれ、歩行停止段階初期時刻の質量中心の z 10
軸方向における位置、速度及び加速度であり、 $Z(T_1)$ 、 $\dot{Z}(T_1)$ 及び $\ddot{Z}(T_1)$ が、それぞれ、歩行
停止段階終了時刻の二足ロボットの質量中心の z 軸方向における位置、速度及び加速度で
あり、

Z_c が歩行停止段階初期時刻の質量中心の高さであり（歩行中間段階における質量中心の高
さ H_z に等しくてもよい）、 Z_{c_0} が歩行停止段階において二足ロボットの最初の安定的な立
位状態での質量中心の高さである（歩行開始段階における質量中心の初期高さ H_{z_0} に等し
くてもよい）。なお、各歩行制御パラメータの第二数値が、式（12）における各等式の右
辺の数値に近似しており、偏差があまり大きくない他の数値をとってもよく、式（12）に
おける各等式の右辺に例示された数値に限らない。 20

【 0 0 4 2 】

歩行停止段階開始時刻における質量中心の z 軸方向で満たす第二制約条件が得られた後
、多項式補間を用いて、式（12）の制約条件により、質量中心の z 軸方向における軌跡 $Z(t)$
が下記のように得られる。

$$Z(t) = a'_0 + a'_1 t + a'_2 t^2 + a'_3 t^3 + a'_4 t^4 + a'_5 t^5 \quad \text{式 (13)}$$

ここで、 a'_0 から a'_5 が具体的なパラメータであり、
式（12）における対応するパラメータ値を式（13）に代入すると、質量中心の z 軸方向に
おける時間 t につれて変化する軌跡が算出される。

【 0 0 4 3 】

〔 x 軸方向における質量中心の運動軌跡〕

x 軸方向において、質量中心の第二順方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、
位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度
パラメータの順方向第二数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの順方向
第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値、速度パラメータ値及び加
速度パラメータ値がいずれも0に等しい。本発明の実施例では、質量中心の歩行停止段階
初期時刻の位置、速度及び加速度が、歩行中間段階の両脚支持期間終了時刻の位置、速度
及び加速度とそれぞれ同じになるように設定し、対称性及び連続性によれば、つまり、歩
行中間段階の片脚支持期間開始時刻の位置、速度及び加速度とそれぞれ同じになり、これ
により、互いの間で滑らかに移行することを保証するとともに、歩行停止段階が安定性条
件を満たすことを保証する。また、安定的な静止立位状態に復帰するために、歩行停止段
階終了時刻の質量中心の位置、速度及び加速度がいずれも0である。これから分かるよう
に、質量中心の歩行停止段階開始時刻で満たす第二制約条件は、下記の通りである。 40

$$\begin{cases} X(0) = X_s(0) \\ \dot{X}(0) = \dot{X}_s(0) \\ \ddot{X}(0) = \ddot{X}_s(0) \\ X(T_1) = 0 \\ \dot{X}(T_1) = 0 \\ \ddot{X}(T_1) = 0 \end{cases} \quad \text{式 (14)}$$

【 0 0 4 4 】

そのうち、歩行停止段階開始時刻の質量中心の位置 $X(0)$ 、速度 $\dot{X}(0)$ 及び加速度 $\ddot{X}(0)$ の数値が、それぞれ、前記歩行中間段階で算出された、片脚支持期間開始時刻の質量中心の x 軸方向における位置 $X_s(0)$ 、速度 $\dot{X}_s(0)$ 及び加速度 $\ddot{X}_s(0)$ である。歩行停止段階終了時刻の質量中心の位置 $X(T_1)$ が 0 に等しく、速度 $\dot{X}(T_1)$ が 0 に等しく、加速度 $\ddot{X}(T_1)$ が 0 に等しい。

【 0 0 4 5 】

歩行停止段階開始時刻における質量中心の x 軸方向で満たす第二制約条件が得られた後、多項式補間を用いて、式 (14) の制約条件により、質量中心の x 軸方向における軌跡 $X(t)$ が下記のように得られる。

$$X(t) = b'_0 + b'_1 t + b'_2 t^2 + b'_3 t^3 + b'_4 t^4 + b'_5 t^5 \quad \text{式 (15)}$$

ここで、 b'_0 から b'_5 が具体的なパラメータであり、

式 (14) における対応するパラメータ値を式 (15) に代入すると、質量中心の x 軸方向における時間 t につれて変化する軌跡が算出される。

【 0 0 4 6 】

〔 y 軸方向における質量中心の運動軌跡 〕

y 軸方向において、質量中心の第二横方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第二数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの横方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に 0 に等しい。本実施例では、質量中心の歩行停止段階開始時刻の位置、速度及び加速度が、歩行中間段階の両脚支持期間終了時刻の位置、速度及び加速度とそれぞれ同じになるように設定し、対称性及び連続性によれば、つまり、歩行中間段階の片脚支持期間開始時刻の位置、速度及び加速度とそれぞれ同じになり、これにより、互いの間で滑らかに移行することを保証するとともに、歩行停止段階が安定性条件を満たすことを保証する。安定的な静止立位状態に復帰するために、歩行停止段階終了時刻で質量中心が両足間の距離の中間位置にあり、速度及び加速度が共に 0 である。これから分かるように、歩行停止段階開始時刻の質量中心の y 軸方向で満たす第二制約条件は、下記の通りである。

$$\begin{cases} Y(0) = Y_s(0) \\ \dot{Y}(0) = \dot{Y}_s(0) \\ \ddot{Y}(0) = \ddot{Y}_s(0) \\ Y(T_1) = W / 2 \\ \dot{Y}(T_1) = 0 \\ \ddot{Y}(T_1) = 0 \end{cases} \quad \text{式 (16)}$$

【 0 0 4 7 】

そのうち、歩行停止段階開始時刻の質量中心の位置 $Y(0)$ 、速度 $\dot{Y}(0)$ 及び加速度 $\ddot{Y}(0)$ が、それぞれ、前記歩行中間段階で算出された、片脚支持期間開始時刻の質量中心の y 軸方向における位置 $Y_s(0)$ 、速度 $\dot{Y}_s(0)$ 及び加速度 $\ddot{Y}_s(0)$ に等しい。

【 0 0 4 8 】

歩行停止段階開始時刻における質量中心の y 軸方向で満たす第二制約条件が得られた後、多項式補間を用いて、式 (16) の制約条件により、質量中心の y 軸方向における軌跡 $Y(t)$ が下記のように得られる。

$$Y(t) = c'_0 + c'_1 t + c'_2 t^2 + c'_3 t^3 + c'_4 t^4 + c'_5 t^5 \quad \text{式 (17)}$$

ここで、 c'_0 から c'_5 が具体的なパラメータであり、

式(16)における対応するパラメータ値を式(17)に代入すると、質量中心のy軸方向における時間tにつれて変化する軌跡が算出される。

【0049】

以上で、二足ロボットの質量中心の歩行中間段階、歩行開始段階及び歩行停止段階のそれぞれにおける運動軌跡が得られる。

なお、上記実施例において、歩行制御パラメータが位置、速度及び加速度を含むものとして例示的な説明を行ったが、本発明の他の実施例において、歩行制御パラメータが位置と速度を含んでもよく、歩行制御パラメータが位置と速度である場合、位置パラメータと速度パラメータが共に、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、具体的な計算過程については、前記実施例の関連記載を参照することができるので、ここでは繰り返して説明しない。

【0050】

本発明のもう一つの実施例では、質量中心の運動軌跡に基づいて、両脚における各関節点の運動に対して制御を行う。二足ロボットの歩行時の安定性をさらに実現するために、この方法が、二足ロボットの足首関節の所定の運動高さによって、両脚の足首関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡を算出し、足首関節の運動軌跡によって、足首関節の各段階における所定の角度軌跡を算出することと、二足ロボットの各段階における質量中心、膝関節及び足首関節の間の構造位置関係、及び、歩行時の質量中心及び足首関節の各段階における運動軌跡によって、膝関節の各段階における運動軌跡を算出することと、膝関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡によって、膝関節の各段階における所定の角度軌跡を算出することと、をさらに含む。

【0051】

二足ロボットの遊脚の揺動過程において、遊脚の足首関節が、必ず、初期点、最高点及び終止点の三つの肝心な点を通る。これらの三つの点の位置、速度及び加速度の制約条件により、上記と同様に、多項式補間を用いて、遊脚の足首関節の運動軌跡を求めることができる。

【0052】

具体的に、図6は、本発明の一実施例による二足ロボットの支持脚の順方向模式図であり、図7は、本発明の一実施例による二足ロボットの遊脚の順方向模式図であり、図6及び図7に示すように、順方向平面(即ち、ロボットの運動時にxoz平面内での投影)において、 L_c が二足ロボットの質量中心から股関節までの距離を表し、 L_k が股関節から膝関節までの距離であり、 L_a が膝関節から足首関節までの距離を表し、図6の H_h 、図7の H_{h1} が股関節から足首関節までの距離を表す。これらの距離、及び、股関節、膝関節、足首関節の間の幾何学的関係が、ロボットの設計構造によって予め得ることができ、これにより、ロボットの支持脚の幾何学的関係により、質量中心の運動軌跡、足首関節の運動軌跡と合わせて、足首関節関節角 α_a 、膝関節関節角 α_k 及び股関節関節角 α_h といった支持脚の各関節角度、及び、角度の時間的に変化する軌跡を得ることができる。図6及び図7における(即ち、股関節と足首関節とを結ぶ連結線とy軸との夾角)、 α_a 、 α_h 、 α_k 及び α_{a1} 、 α_{h1} 、 α_{k1} が、中間計算過程で用いられた補助計算角度であることが理解できる。

【0053】

図8は、本発明の一実施例による二足ロボットの両脚の横方向模式図であり、同様に、図8に示すように、横方向平面(即ち、ロボットの運動時にyoz平面内での投影)において、質量中心(図8に示す黒い実円を参照)が二足ロボットの両足間の距離の半分 $W/2$ の所にあり、質量中心から股関節までの距離が z_{ch} であり、股関節から足首関節までの距離が z_{ce} であり、股関節の支持脚に対するy座標が y_{ce} である。ロボットが安定的に歩行でき

10

20

30

40

50

るように、身体の上部を垂直に保ち、足裏を水平に保つ必要があるため、順方向平面での歩行を自由度の問題と簡略化することができる。歩行に関わる角度が、足首関節回転（ x 軸周りの回転）自由度と股関節回転自由度である。二つの足首関節は、角度の大きさ、方向が一致しており、二つの股関節は、角度の大きさが同じであり、方向が足首関節と反対に向いている。脚部の幾何学的関係、質量中心の運動軌跡及び足首関節の運動軌跡によれば、足首関節関節角 α_l 、膝関節関節角 κ_l 及び股関節関節角 η_l といった遊脚部の各関節角度、及び、角度の時間的に変化する軌跡を得ることができる。図8における角度 θ_{ce} が、ロボットの歩行時に股関節と足首関節とを結ぶ連結線と垂直方向との左右の夾角であり、補助計算角度であることが理解できる。

【0054】

図6から図8を参照して、二足ロボットの足首関節の所定の運動高さによって、足首関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡を算出する計算過程は、下記の通りになる。即ち、足首関節の運動の最高点となる足首関節の所定の運動高さ（例えば H_h ）を予め設定し、足首関節の初期点の位置、速度及び加速度がいずれも0であり、終止点の位置、速度及び加速度がいずれも0であり、最高点の位置が H_h であり、速度及び加速度が0である。これらの数値によって足首関節の満たす制約条件を算出すると共に、制約条件により、多項式補間を用いて、足首関節の初期点から最高点までの運動軌跡、及び、最高点から終止点までの運動軌跡を算出することができる。本実施例において、歩行時の質量中心及び足首関節の各段階における運動軌跡によって、各時刻の質量中心及び足首関節の所在する空間的位置を得るとともに、ロボットの質量中心及び股関節の幾何学的位置関係によって股関節の空間的位置を得て、そして、二足ロボットの股関節、膝関節及び足首関節の間の構造位置関係により、大腿部及び脛部の長さ等の構造パラメータと合わせて、三角幾何学的関係を用いて、膝関節の位置及び角度を算出して、さらに、膝関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡を得るとともに、膝関節の各段階における所定の角度軌跡を得ることをさらに含む。

【0055】

なお、本発明の一実施例では、三角幾何学的関係によって二足ロボットの脚部の足首関節、膝関節及び股関節の関節角度を算出するが、本発明の他の実施例では、二足ロボットの脚部の関節及び股関節の所定の角度が算出できれば、他のアルゴリズムを用いて上記計算過程を完成させてもよい。他のアルゴリズムとしては、例えば逆運動学解析である。逆運動学は、既知のエンドアクチュエータの位置及び姿に従って、対応する関節変数を求めるものであり、従来技術では、様々な計算案（例えば、解析法、幾何学法、幾何解析法、数値法）が提供されており、従来技術によれば、股関節の運動軌跡によって股関節の所定の角度軌跡（即ち、股関節の関節角度の時間的に変化する軌跡）を得ることができ、本発明の実施例では、逆運動学解析方法については制限しない。なお、所定の角度軌跡を如何に求めるかは、本発明の実施例の重点ではなく、具体的に実現する際に、逆運動学解析のうちのいずれかの案を用いてもよく、ここでは繰り返して説明しない。また、本実施例では、多項式補間を用いて質量中心の運動軌跡、及び、股関節、足首関節のそれぞれの運動軌跡を算出するが、本発明の技術では、質量中心、股関節、足首関節の運動軌跡の計算は、本実施例における多項式補間に限らない。その他の実現可能な計算方法を用いてもよい。両脚の足首関節、膝関節及び二足ロボットの股関節の所定の角度軌跡が算出された後、股関節、足首関節及び膝関節のうちの一つ又は複数を制御点として選択して、二足ロボットの歩行時に、制御点（例えば足首関節、膝関節及び股関節）の回転角をリアルタイムに検出し、足首関節、膝関節及び股関節の各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された股関節、足首関節の回転角に対してそれぞれ適応トラッキング制御を行い、二足ロボットの安定的な歩行を実現する。

【0056】

図10は、本発明の一実施例による二足ロボットの関節角度制御構造の模式図であり、図10において、 θ_d が所定の関節角度、 θ_r が実際に検出された関節角度、 k_p が比例係数、 k_d が微分係数、 τ が回転モーメントである。図10に示すように、本実施例では、股関

10

20

30

40

50

節を例として模式的に説明する。ロボットの各歩行段階における股関節の所定の角度が得られた後、モーメント制御を用いて、検出された股関節の回転角を直接にフィードバックとして前記各段階における歩行に必要な関節回転角（所定の角度）を差し引いた後、比例積分微分PIDコントローラ（PIDは、比例proportion、積分integration、微分differentiationの略称）、又は、比例微分PDコントローラ（PDは、比例proportion、微分differentiationの略称）によって制御を行い、二足ロボットの股関節の入力トルクを出力することにより、ロボットの股関節が運動するように駆動し、安定的に歩行するという目的に達する。本発明の実施例による技術は、モーメント制御という手段によって、二足ロボットの非線形結合システムを線形多変数デカップリングシステムに簡略化する。具体的実施する際に、二足ロボットの各関節に対して別々のPID又はPDコントローラを用いることで、各関節の所定の角度への追跡制御を実現し、最終的に、ロボットが設定した歩行に従って安定的に運行することを実現する。

【 0 0 5 7 】

なお、比例積分微分PIDコントローラ又は比例微分PDコントローラの具体的な動作原理については、従来技術を参照することができるので、ここでは繰り返して説明しない。

【 0 0 5 8 】

本発明の一実施例において、二足ロボットの歩行をより擬人化するとともに、安定性を向上させるために、ロボットの両腕も脚部と協働して前後に揺動すると同時に、両脚の交互揺動と対称することが要求される。よって、この歩行制御方法は、角変位、角速度及び角加速度といった二足ロボットの肩関節の揺動角度の制御パラメータを選択することと、二足ロボットの歩行中間段階において遊脚が揺動する開始時刻及び終了時刻で、遊脚に対応する肩関節の達したい角変位値、角速度値及び角加速度値のそれぞれによって、遊脚に対応する肩関節の満たすべき角度制約条件を設定することと、角度制約条件により、多項式補間を用いて、歩行中間段階における肩関節が揺動する所定の角度軌跡を算出することと、二足ロボットの歩行中間段階において遊脚が揺動する開始時刻で、遊脚に対応する肩関節の達したい角変位値、角速度値及び角加速度値を用いて、歩行開始段階における肩関節の満たすべき角度の第一制約条件、及び、歩行停止段階における肩関節の満たすべき角度の第二制約条件を設定することと、角度の第一制約条件、角度の第二制約条件により、多項式補間を用いて、歩行開始段階における肩関節が揺動する所定の角度軌跡、及び、歩行停止段階における肩関節が揺動する所定の角度軌跡を算出することと、二足ロボットの歩行時に、肩関節の回転角をリアルタイムに検出し、肩関節の上記各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された肩関節の回転角に対して適応トラッキング制御を行い、二足ロボットが安定的に歩行する時に両腕と脚部との運動が協働し、より擬人化することを実現することと、をさらに含む。

【 0 0 5 9 】

図9は、本発明の一実施例による二足ロボットの肩関節の揺動角度の模式図であり、具体的に、歩行中間段階における一つのシングルステップ周期 $T = T_1 + T_2$ において、図9に示すように、右脚を遊脚と仮定すると、右肩関節91がシングルステップ周期の開始時刻と終了時刻で、それぞれ、揺動角度の最大値と最小値に達し、角度制約条件が下記のように得られる。

$$\begin{cases} \theta(0) = \theta_{\max} \\ \dot{\theta}(0) = 0 \\ \ddot{\theta}(0) = 0 \\ \theta(T) = -\theta_{\max} \\ \dot{\theta}(T) = 0 \\ \ddot{\theta}(T) = 0 \end{cases} \quad \text{式 (18)}$$

【 0 0 6 0 】

10

20

30

40

そのうち、 $\theta(0)$ が歩行中間段階のシングルステップ周期の開始時刻で右肩関節が揺動する角変位であり、 $\dot{\theta}(0)$ が角速度を表し、 $\ddot{\theta}(0)$ が角加速度を表し、 $\theta(T)$ が歩行中間段階のシングルステップ周期の終了時刻で右肩関節が揺動する角変位であり、 $\dot{\theta}(T)$ が角速度を表し、 $\ddot{\theta}(T)$ が角加速度を表す。そのうち、 θ_{\max} が、達したい揺動角最大値であり、 $-\theta_{\max}$ が、達したい揺動角最小値であり、ここでの負号が方向を表す。

【 0 0 6 1 】

式(18)の角度制約条件により、歩行中間段階において右肩関節の揺動する所定の角度軌跡が下記のように得られる。

$$\theta(t) = d_0 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3 + d_4 t^4 + d_5 t^5 \quad \text{式 (19)}$$

式(19)における d_0 から d_5 がパラメータであり、式(18)における対応するパラメータ値を式(19)に代入すると、所定の角度軌跡を算出することができる。

その一方、左肩関節の揺動角度がそれと前後に対称する。

【 0 0 6 2 】

歩行開始段階において、肩関節揺動角の初期値が0であり、歩行停止段階において、肩関節揺動角の最終値が0であると同時に、歩行中間段階の歩行の揺動角と繋がることが要求され、第一角度制約条件及び第二角度制約条件が取得された後、同様に、歩行開始段階及び歩行停止段階における肩関節揺動角の所定の角度軌跡が得られる。具体的に、歩行開始段階終了時刻で、右肩関節揺動角の満たす第一角度制約条件は、下記の通りである。

$$\begin{cases} \theta(0) = 0 \\ \dot{\theta}(0) = 0 \\ \ddot{\theta}(0) = 0 \\ \theta(T) = \theta_{\max} \\ \dot{\theta}(T) = 0 \\ \ddot{\theta}(T) = 0 \end{cases} \quad \text{式 (20)}$$

【 0 0 6 3 】

式(20)の第一角度制約条件により、歩行開始段階で右肩関節の揺動する所定の角度軌跡が下記のように得られる。

$$\theta(t) = e_0 + e_1 t + e_2 t^2 + e_3 t^3 + e_4 t^4 + e_5 t^5 \quad \text{式 (21)}$$

式(20)における第一角度制約条件のうちのパラメータ値を式(21)に代入すると、歩行開始段階で右肩関節揺動角の時間的に変化する軌跡が得られる。

【 0 0 6 4 】

歩行停止段階開始時刻で、右肩関節揺動角の満たす第二角度制約条件は、下記の通りである。

$$\begin{cases} \theta(0) = -\theta_{\max} \\ \dot{\theta}(0) = 0 \\ \ddot{\theta}(0) = 0 \\ \theta(T) = 0 \\ \dot{\theta}(T) = 0 \\ \ddot{\theta}(T) = 0 \end{cases} \quad \text{式 (22)}$$

【 0 0 6 5 】

式(22)の第二角度制約条件により、歩行停止段階開始時刻で右肩関節の揺動する所定の角度軌跡が下記のように得られる。

10

20

30

40

50

$$\theta(t) = f_0 + f_1 t + f_2 t^2 + f_3 t^3 + f_4 t^4 + f_5 t^5 \quad \text{式 (23)}$$

その一方、左肩関節の揺動角度がそれと前後に対称する。具体的な計算過程については、前記の歩行中間段階における一つのシングルステップ周期内の角度軌跡という部分の説明を参照することができるので、ここでは繰り返して説明しない。

【 0 0 6 6 】

上記実施例の説明から分かるように、従来技術に存在する、歩行開始段階及び歩行停止段階で歩行の安定性が悪く、ロボットの歩行の不安定化を招きやすく、ロボットの歩行に影響を与えるという問題について、本発明の実施例は、二足ロボットが歩行中間段階の歩行に入った後、線形倒立振子モデルを用いて、ロボットの質量中心の位置に対して制御を行う（即ち、各歩行制御パラメータの第一数値と第二数値を求める）ことで、歩行の安定性を向上させ、周期的に歩行する歩行中間段階で支持脚の瞬時の切替えによる不安定及びロボットへの衝撃を回避する。続いて、多項式補間を用いて、各歩行制御パラメータの対応する第一数値と第二数値により、質量中心の歩行開始段階で満たす第一制約条件、及び歩行停止段階で満たす第二制約条件をそれぞれ決定することにより、二足ロボットの歩行開始段階及び歩行停止段階における質量中心の運動軌跡に対して制御を行い、二足ロボットの歩行を制御することで、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにして、二足ロボットの安定的な歩行を実現する。さらに、本技術は、ロボットの位置エネルギーから変換された運動エネルギーにより、歩行開始段階において一步内で通常の歩行中間段階の歩行状態に入ることが実現され、また、運動エネルギーから位置エネルギーに変換することにより、歩行停止段階において一步内で歩行停止過程を完成させるとともに、歩行開始段階、歩行停止段階が、歩行中間段階の歩行とそれぞれ連続的に繋がるようにして、安定歩行条件を満たし、歩行過程が効率的かつ安定的に開始及び終了することを実現する。歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における質量中心の軌跡が得られた後、ロボットの構造特徴及び逆運動学解析によって、両脚の股関節、膝関節及び足首関節の関節回転角を算出する。最後に、二足ロボットの各関節の回転角への制御により、歩行時の質量中心の安定性をさらに保証し、二足ロボットの歩行の安定性を実現する。

【 0 0 6 7 】

本発明のもう一つの実施例において、二足ロボットの歩行制御装置がさらに提供されており、該歩行制御装置は、

二足ロボットの歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における歩行制御パラメータを選択するとともに、二足ロボットのゼロモーメント点が安定領域内に位置する時の、二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡を取得するための質量中心歩行中間段階軌跡取得手段と、歩行中間段階における質量中心の運動軌跡によって、質量中心の歩行中間段階開始時における各歩行制御パラメータの第一数値、及び、該質量中心の歩行中間段階終了時における各歩行制御パラメータの第二数値を得るためのパラメータ値取得手段と、第一数値を用いて歩行開始段階終了時の前記質量中心の満たすべき第一制約条件を設定し、第二数値を用いて歩行停止段階開始時の前記質量中心の満たすべき第二制約条件を設定するための制約条件設定手段と、第一制約条件及び第二制約条件に基づいて、前記質量中心の歩行開始段階及び歩行停止段階における運動軌跡をそれぞれ算出するための質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段と、二足ロボットの歩行を制御することで、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにして、前記二足ロボットの安定的な歩行を実現するための質量中心軌跡制御手段と、を含む。

【 0 0 6 8 】

本発明の一実施例において、質量中心軌跡制御手段が、足首関節軌跡算出モジュールと、股関節軌跡算出モジュールと、関節角度算出モジュールと、関節角度制御モジュールとを含み、足首関節軌跡算出モジュールが、二足ロボットの足首関節の所定の運動高さによって、両脚の足首関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡

を算出するために用いられ、股関節軌跡算出モジュールが、質量中心の各段階における運動軌跡によって、二足ロボットの股関節の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における運動軌跡を算出するために用いられ、関節角度算出モジュールが、股関節及び足首関節の各段階における運動軌跡、二足ロボットの脚部の構造位置関係、及び、脚部の長さの数値によって、股関節、足首関節、膝関節の各段階における所定の角度軌跡を算出するために用いられ、関節角度制御モジュールが、股関節、足首関節及び膝関節のうちの一つ又は複数を制御点として選択して、二足ロボットの歩行時に、制御点の回転角をリアルタイムに検出し、制御点の上記各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された制御点の回転角に対して適応トラッキング制御を行うことにより、二足ロボットの歩行時の質量中心の運動軌跡が質量中心の歩行開始段階、歩行中間段階及び歩行停止段階における各運動軌跡を満たすようにするために用いられる。

10

【0069】

本実施例において、歩行制御パラメータの各パラメータが、いずれも、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、そのうち、該歩行制御パラメータが位置と速度を含み、或いは、該歩行制御パラメータが位置、速度及び加速度を含む。

【0070】

本発明の一実施例において、質量中心歩行中間段階軌跡取得手段で取得した歩行制御パラメータの各パラメータが、いずれも、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、そのうち、該歩行制御パラメータが位置と速度を含み、或いは、該歩行制御パラメータが位置、速度及び加速度を含む。

20

【0071】

本発明の一実施例において、質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段が、さらに、達したい歩行中間段階開始時における質量中心の初期速度、及び、運動エネルギーと位置エネルギーとの変換関係によって、歩行開始段階終了時における二足ロボットの質量中心の垂直方向での高さ H_z を算出するために用いられ、

質量中心歩行中間段階軌跡取得手段で取得した、二足ロボットの質量中心の歩行中間段階における運動軌跡は、歩行中間段階開始時及び歩行中間段階終了時における質量中心の垂直方向での高さが共に H_z であるという条件を満たす。

【0072】

30

本発明の一実施例において、パラメータ値取得モジュールが、さらに、角変位、角速度及び角加速度といった二足ロボットの肩関節の揺動角度の制御パラメータを選択するために用いられ、

制約条件設定手段が、さらに、二足ロボットの歩行中間段階において遊脚が揺動する開始時刻及び終了時刻で、遊脚に対応する肩関節の達したい角変位値、角速度値及び角加速度値のそれぞれによって、遊脚に対応する肩関節の満たすべき角度制約条件を設定するために用いられ、

質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段が、さらに、角度制約条件により、多項式補間を用いて、歩行中間段階における肩関節が揺動する所定の角度軌跡を算出するために用いられ、制約条件設定手段が、さらに、二足ロボットの歩行中間段階において遊脚が揺動する開始時刻で、遊脚に対応する肩関節の達したい角変位値、角速度値及び角加速度値を用いて、歩行開始段階における肩関節の満たすべき角度の第一制約条件、及び、歩行停止段階における肩関節の満たすべき角度の第二制約条件を設定するために用いられ、質量中心歩行開始及び歩行停止段階軌跡算出手段が、さらに、角度の第一制約条件、角度の第二制約条件により、多項式補間を用いて、歩行開始段階における肩関節が揺動する所定の角度軌跡、及び、歩行停止段階における肩関節が揺動する所定の角度軌跡を算出するために用いられ、質量中心軌跡制御手段が、さらに、二足ロボットの歩行時に、肩関節の回転角をリアルタイムに検出し、肩関節の上記各段階における所定の角度軌跡を用いて、検出された肩関節の回転角に対して適応トラッキング制御を行い、二足ロボットの安定的な歩行を実現するために用いられる。

40

50

【 0 0 7 3 】

本発明の一実施例において、質量中心歩行中間段階軌跡取得手段で選択した歩行制御パラメータが位置と速度である場合、位置パラメータと速度パラメータが共に、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、歩行開始段階終了時の質量中心の満たす第一制約条件が、第一順方向制約条件、第一横方向制約条件及び第一垂直方向制約条件を含み、

第一順方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値及び速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第一数値に等しく、第一横方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第一数値に等しく、第一垂直方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、第二制約条件が、第二順方向制約条件、第二横方向制約条件及び第二垂直方向制約条件を含み、第二順方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値及び速度パラメータ値が共に0に等しく、第二横方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値が0に等しく、第二垂直方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値が0に等しく、

質量中心歩行中間段階軌跡取得手段で選択した歩行制御パラメータが位置、速度及び加速度を含む場合、位置パラメータ、速度パラメータ及び加速度パラメータがいずれも、二足ロボットの歩行時の順方向、横方向及び垂直方向の三つの方向成分を含み、第一順方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値がいずれも0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第一数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの順方向第一数値に等しく、第一横方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの両足間の距離の半分であり、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第一数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第一数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの横方向第一数値に等しく、第一垂直方向制約条件としては、歩行開始段階開始時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行開始段階終了時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さHzに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、第二順方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの順方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの順方向第二数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの順方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値がいずれも0に等しく、第二横方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が位置パラメータの横方向第二数値に等しく、速度パラメータ値が速度パラメータの横方向第二数値に等しく、加速度パラメータ値が加速度パラメータの横方向第二数値に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が

10

20

30

40

50

二足ロボットの両足間の距離の半分に等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、第二垂直方向制約条件としては、歩行停止段階開始時に、位置パラメータ値が歩行開始段階終了時の質量中心の垂直方向での高さ H_z に等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しく、歩行停止段階終了時に、位置パラメータ値が二足ロボットの質量中心の初期高さに等しく、速度パラメータ値及び加速度パラメータ値が共に0に等しい。

【0074】

なお、本実施例において、二足ロボットの歩行制御装置が前記歩行制御方法と対応するものであるため、本実施例による歩行制御装置の動作過程については、前記の歩行制御方法の対応説明を参照することができるので、ここでは繰り返して説明しない。

10

【0075】

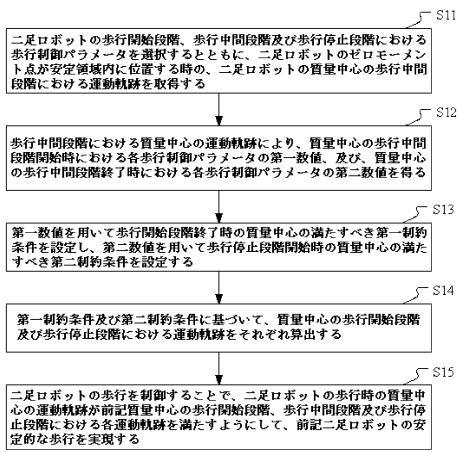
以上をまとめて、従来技術と比べて、本発明の実施例では、より有効な歩行開始段階及び歩行停止段階における制御方法が提案されており、通常の歩行過程を一歩内で迅速に開始及び終了させることができ、従来技術における、いくつかの段階を経てはじめて通常の歩行状態に達し及びそれを終了させることが回避される。そして、歩行中間段階において位置、速度及び加速度というパラメータで倒立振り子モデルを用いて算出した軌跡に合理的に繋がることにより、歩行開始段階及び歩行停止段階でも安定性条件を満たすようにすることが保証される。また、通常の歩行中間段階の歩行において、片脚支持段階及び両脚支持段階の両段階共に線形倒立振り子モデルを用いて計画を行うことにより、ロボットが二つの段階で安定性条件を満たすとともに、支持脚の切替え期間でロボットへの衝撃を低減することが保証される。

20

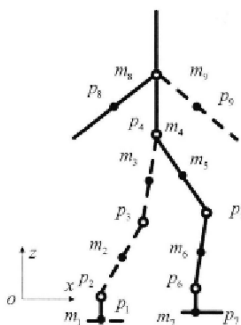
【0076】

上記したのは、あくまでも本発明の好ましい実施例であり、本発明の保護範囲を限定するものではない。本発明の精神及び原則の範囲内になされたいかなる補正、同等置換、改善等は、いずれも本発明の保護範囲内に含まれるものと見なされる。

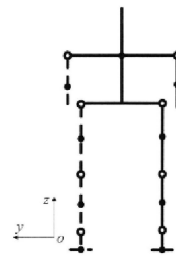
【図1】



【図2】



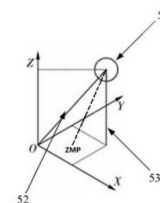
【図3】



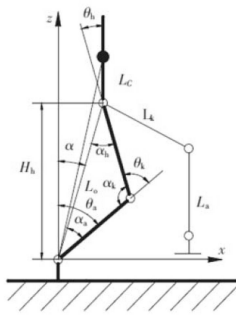
【図4】



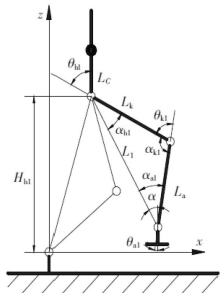
【図5】



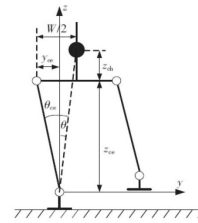
【 図 6 】



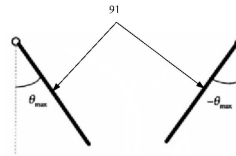
【 図 7 】



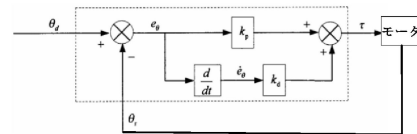
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

(74)代理人 100087505

弁理士 西山 春之

(74)代理人 100168642

弁理士 関谷 充司

(74)代理人 100096769

弁理士 有原 幸一

(74)代理人 100107319

弁理士 松島 鉄男

(72)発明者 スー, ペンチェン

中華人民共和国、シャントン 261031、ウェイハン、ハイ-テック インダストリー ディ
ストリクト、ドンファン ロード ナンバー268

審査官 貞光 大樹

(56)参考文献 特開2007-175809(JP, A)

特開2010-17806(JP, A)

特開2011-161524(JP, A)

特開2013-184248(JP, A)

特開2015-104788(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00 - 21/02