

二足歩行ロボットの逆運動学シミュレーション
Inverse Kinematical Simulation of Biped Walking Robot

正 浜松 弘(北九州高専)

○ 宮脇貴秀(北九州高専専攻科)

Hiroshi HAMAMATSU,
Takahide MIYAWAKI,

Kitakyushu National College of Technology, Shii,Kokura-minami-ku,Kitakyushu
Kitakyushu National College of Technology

This paper is examined the walking stability of biped walking robot by using a computer simulation. The forward kinematics calculation and the inverse kinematics calculation and the dynamics calculation are necessary to control for robot so that biped walking robot performs the bipedalism which is stability. We have calculated the forward kinematics and the inverse kinematics. At first We made the kinematics model from study unit and performed the forward kinematics calculation. The inverse kinematics calculation has analytic solution and numerical solution. We performed the inverse kinematics calculation by the numerical solution that we used Jacobian in this study. We used MATLAB from the numerical value of the result of the inverse kinematics calculation and made inverse kinematical simulation.

Keywords : Biped walking robot, Forward kinematics, Inverse kinematics, Simulation, Jacobian

1. 緒 論

現在、産業用ロボットや警備用ロボットなど、人間の生活においてロボットは関わりをもつようになっている。なかでも、二足歩行を行う人型ロボットは対人親和性も高く、人間が行動する環境を改善することなく移動できるため、人間と共存できる次世代型ロボットとしての期待が大きい^[1]。ロボットの移動手段には、車輪を使用するものや多足歩行など様々な方法がある。しかし、人間の生活する環境において活躍が期待される二足歩行ロボットは、人間と同じような歩行動作ができるよう研究が行われている。二足歩行とは、転倒せずに二本の足を用いて移動することであり、ロボットにこの条件を満たす動作をさせることを本研究の目的とする。

本報では、ロボットの機構を考慮した歩行動作指令作成に必要な順運動学、逆運動学計算による動作シミュレーションを行う。

2. 実 験 装 置

本研究では、逆運動学計算を用いた歩行動作シミュレーションを行う。

対象とするロボットのモデルは図1(a)の近藤科学社製二足歩行ロボット KHR-2HV である。KHR-2HV の下半身にはモータが10個あり、このモータを駆動させて歩行動作を行わせる。モータ1個が自由度を1つ持つため、歩行動作シミュレーションに使用する自由度は10として逆運動学計算を行う。

本研究では、図1(c)に示す KHR-2HV の下半身に相当する部分の運動学モデルの導出をする。図1(c)を3次元空間内に表し、各関節角度を図2のように定義し、図2の運動学モデルの10個の関節を用いて順運動学計算を行う。その後、関節角度を変数とするヤコビ行列を考え、逆運動学計算を行い、計算結果からロボットの歩行動作シミュレーションを行った。

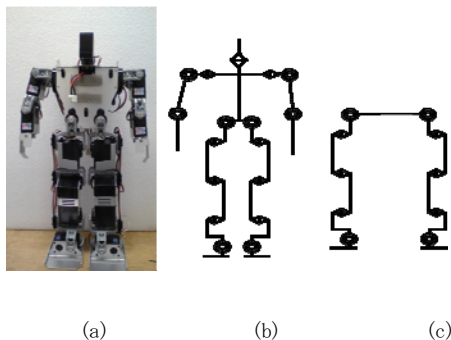


Fig.1 Kinematics model

3. 計 算 条 件

順運動学計算、逆運動学計算を行う際に計算条件を述べる。

計算条件は、運動学モデルを作成する際にロボットの足首関節の角度に可動制限を加えることとする。現段階では、ロボットが平らな場所を歩行することを前提として歩行動作の検討を行う。足首関節角度は、股関節角度と膝関節角度から足裏が地面に対して平行になるように計算条件を与える。このことで、ロボットは接地の際に足裏全体で地面をとらえることができる。

また、ロボットが安定な歩行動作を行うための、ロボットの足裏が描く軌跡（以下、移動軌跡という）を設定する。

図3はロボットが図の左側から右側へ移動している様子を表したものである。このときの移動軌跡は、ロボット足裏が地面に接している状態から斜め前方へ上昇していき、最高到達点に達すると斜め前方へ下降していく山形の軌跡を設定した。ロボット膝は足裏と同じように山形の軌跡を描く。ロボット股関節は足裏移動軌跡が斜め前方へ上昇していく間はz軸方向に上昇していき、足裏移動軌跡が下降していく間は斜め前方へ下降していく軌跡を設定した。

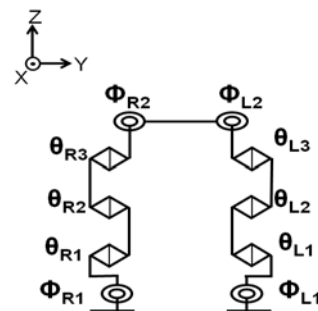


Fig.2 Joint configuration

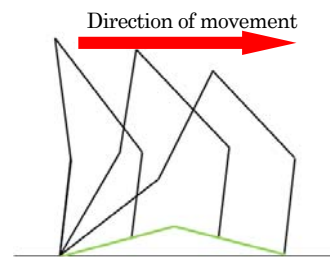


Fig.3 Walking trajectory

4. 歩行動作計算

ロボットの歩行動作指令を作成するために、順運動学計算、逆運動学計算を行う。

順運動学とは、リンク系において与えられた関節角度からリンク先端の位置を導出する計算方法である。運動学モデルから座標変換行列を算出し、任意のリンクの位置を求める。

逆運動学とは、目標位置および姿勢を実現するためのロボットの各関節角度を導出する計算である。逆運動学計算には解析的解法と、数値的解法がある。解析的解法は逆三角関数などを用いて順運動学関数の逆関数を容易に求める方法であり、数値的解法は収束計算による近似解を求める方法である²⁾。

本研究では、ヤコビ行列を用いた数値的解法を行う。数値的解法はより複雑なモデルでも解を求めることができ、近似値の精度を変更することも可能である。

5. ヤコビ行列

ヤコビ行列は、順運動学計算から算出された運動学モデルの各座標位置を各変数で偏微分することで与えられ、逆運動学計算を行う際に使用する。ヤコビ行列 J とその逆行列である逆ヤコビ行列 J^{-1} を用いると、ロボットの姿勢 Δx と関節角度 $\Delta \theta$ の関係は式(1)、(2)である。ヤコビ行列 J は、各関節角度を用いて式(3)で表わせられる。

$$\Delta x = J \cdot \Delta \theta \quad (1)$$

$$\Delta \theta = J^{-1} \cdot \Delta x \quad (2)$$

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial \theta_2} & \frac{\partial x}{\partial \theta_3} & \frac{\partial x}{\partial \phi_2} \\ \frac{\partial y}{\partial \theta_2} & \frac{\partial y}{\partial \theta_3} & \frac{\partial y}{\partial \phi_2} \\ \frac{\partial z}{\partial \theta_2} & \frac{\partial z}{\partial \theta_3} & \frac{\partial z}{\partial \phi_2} \end{pmatrix} \quad (3)$$

ヤコビ行列が正則であるか正則でないかによって、そのロボットの姿勢が制御可能であるかどうかを判断する。ヤコビ行列が正則でない場合は逆ヤコビ行列が存在せず、特異姿勢の状態になる。特異姿勢の場合はロボットの制御が不可能になる³⁾。

次に、ヤコビ行列の正確性を検証するために式(1)、(2)に微小変位 Δx を与えたときの誤差を算出した。式(2)の Δx に変位量を与え、導出した $\Delta \theta$ を式(1)に代入して Δx を求める。得られた Δx の値と、移動軌跡との差を求める。図4に誤差を示す。実線は移動軌跡を表し、点は計算によって得られた Δx の値を表す。

点は、移動軌跡上を目標点とした場合の逆運動学計算の解である。計算結果と移動軌跡との間に誤差は 0% だったので、今回導出したヤコビ行列の正確性が確かめられた。導出したヤコビ行列を用いて逆運動学計算を行った。

6. 逆運動学

MATLAB を用いて逆運動学シミュレーションを行う。シミュレーションに必要なものは、ロボットの各種パラメータ、移動軌跡計算、逆運動学計算、グラフィックス描画プログラムである。

シミュレーションのアルゴリズムは以下の通りである。

- ① 順運動学計算を行い、ロボットの初期位置の両足先端位置を求める。
- ② ロボットの両足それぞれのヤコビ行列を計算する。
- ③ 足を移動させる目標点を定める。
- ④ 逆運動学計算を行って、目標点到達に必要な関節角度を求める。
- ⑤ 求めた角度を順運動学計算の式に代入し、移動距離を求める。
- ⑥ シミュレーション結果を表示させる。

以上の操作を繰り返し計算し、移動軌跡に追従した歩行動作のシミュレーションを行う。

シミュレーション結果を図5に示す。

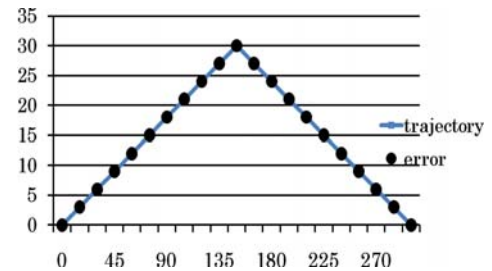


Fig.4 Trajectory error

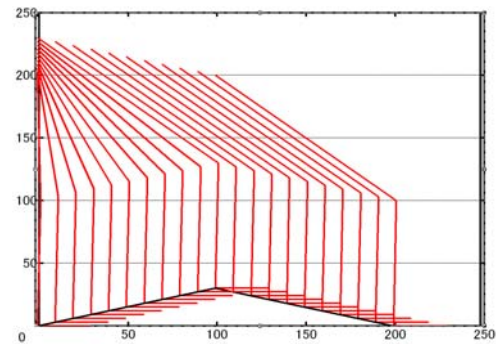


Fig.5 Result of simulation

Y 方向からロボット右足の歩行時の移動軌跡を描いている。ロボットは画面左側から画面右側へ移動をさせている。

計算条件は、股関節と足首関節の関節角度 Φ_{R1} , Φ_{R2} , Φ_{L1} , Φ_{L2} が 0 度で、足裏は地面と常に平行になるように足首関節 θ_{R1} , θ_{L1} の条件を付与した。

折れた直線はロボット右足の脛と腿、足裏を表しており、左から移動が始まっている。山形の移動軌跡に従って、初期位置から関節角度を変更しながら右方向へ上昇していき、高さが最高点に達した後は、地面に接するまで右方向へ進みながら下降している。図5からロボット足裏の逆運動学計算は移動軌跡に追従するように動作していることがわかる。ロボット膝や股関節は計算条件で設定した動作を行っていることが確認できた。計算条件の通りにシミュレーションできたが動力学計算をしていないので、シミュレーションの歩行動作が安定な歩行動作であるかどうかは検証できていない。今後、ロボットの動力学計算をして安定な移動軌跡の検討を行っていく。

7. 結論

順運動学、逆運動学シミュレーションを行い、以下の結論を得た。

- (1) 順運動学計算、逆運動学計算の計算条件は、ロボットの足裏が常に地面と平行になるように設定した。
- (2) ヤコビ行列を用いて逆運動学計算を行った結果、誤差は 0% であり、計算に用いたヤコビ行列の正確性が確かめられた。
- (3) ロボットの足裏は移動軌跡に追従した動作を行った。
- (4) シミュレーションは計算条件の通りにできた。
- (5) 動力学計算を行い、安定な歩行動作の移動軌跡を検討する。

参考文献

- [1] 蓮沼仁志・中嶋勝己・小林政巳・御舩文里・宮原啓造・鷹取正夫・森山尚・家中良太・横井一仁, 人間型ロボットのための遠隔操縦システムの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.1(2004)pp.46-54.
- [2] 川嶋健嗣, 絵ときでわかるロボット工学, 株式会社オーム社, (2007)pp.35-51.
- [3] 鈴森康一, ロボット機構学, 株式会社コロナ社, (2004)pp.129-136.