

ヒューマノイドロボットの各種動作実現

The Realization of Various Movements of Humanoid Robot

○ 高橋正明*, 大久保重範*, 及川一美*, 高橋達也*

Masaaki Takahashi*, Sigenori Okubo*, Kazumi Oikawa*, Tatsuya Takahashi*

*山形大学

*Yamagata University

キーワード: 二足歩行ロボット(biped locomotion robot), 順運動学(forward kinematics), 逆運動学(inverse kinematics)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学科 大久保研究室
大久保重範, Tel.: (0238)26-3245, E-mail: sokubo@yz.yamagata-u.ac.jp

1. 緒言

近年,本田技研工業のASIMOや,ソニーのQRIOといった二足歩行を可能とするヒューマノイドロボットが登場している.これらのロボットは例えば,踊りを踊る,走る,道案内をする,個人を判別する,など人間がする動作を次々と実現していき,人々を驚かせている.

将来,ロボットは自律的な行動を行い,人が行けないような場所での救助活動,大規模構造物での組立作業のような人間ができないような活動を行うことが期待されているが,これらの複雑な動作を行わせるには数学,機構学,運動学などの知識が必要不可欠となり,これらを考慮したプログラムを組んでロボットの軌道データを作らなくてはならない.今後このようなロボットが普及した時,これらの知識を持たない素人にロボットを動かすことは困難であると考えられる.

2. 目的

本研究では小型の二足歩行を用いて,どのような人にでもロボットを動かせるようになるためのシステムの構築,アプリケーションの開発を行うことを目的としている.

3. ロボットの概観

モデルとなるロボットKHR-1(近藤科学)の概観は以下ようになる.サイズは高さ340(mm)×幅120(mm).重量は約1.2(kg)となっている.また,自由度は,首が1自由度,片腕が3自由度,片脚が5自由度の合計17自由度となっている.

4. システムの概要

誰にでも分かりやすくロボットの軌道生成を行うためにGUIを用い,簡単にゲーム感覚で操作できるようなアプリケーションの開発を行う.また汎用性を目指し,windows上ならどこでも軌道生成が行

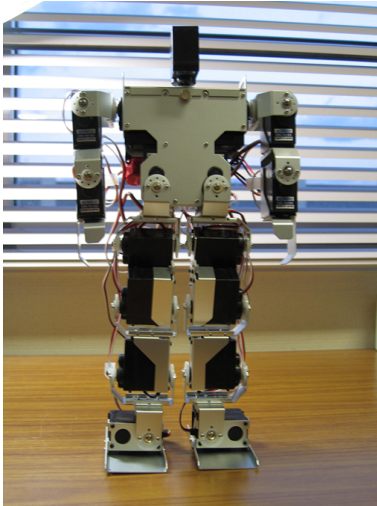


Fig. 1 Biped locomotion robot KHR-1

えるように開発環境にはMicrosoftのVisual C++を用い、グラフィック表現にはOpenGLを使用した。

5. アプリケーションの特徴

製作したアプリケーションの起動画面及び特徴を以下に示す。

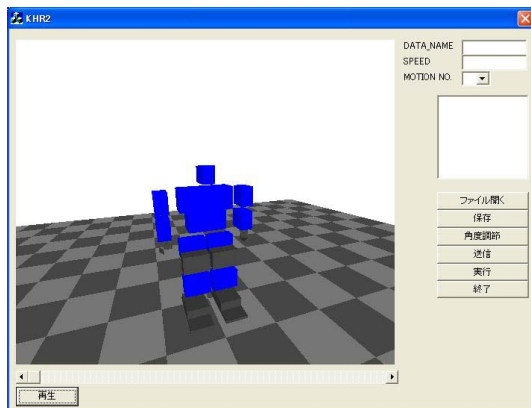


Fig. 2 Starting scene

- 3DCGによるロボットの描画
- アニメーションでの軌道の確認
- マウス操作による視点の切り替え
- スライダー操作による軌道生成
- リストボックスでの軌道データの確認
- 実機との通信

5.1 軌道生成法

軌道データとはあるシーンでのロボットの各関節におけるそれぞれの角度と速度である。KHR-1で使用する軌道データはcsvファイル形式の腕、脚、首などについての関節角度と速度データ情報であり、シーンの数に応じて数行から数百行のデータとなっている。各シーン間の角度はロボット側で補間計算が行われている。

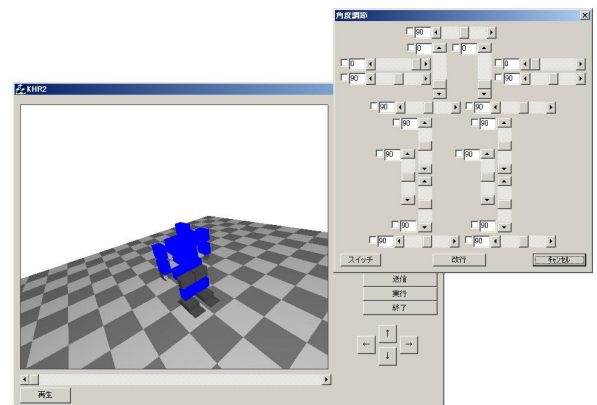


Fig. 3 Operating scene

5.2 3DCGによる描画

ロボットを描画する際、脚部に支持脚、遊脚の概念を持たせた。左右の足各々に、支持脚と遊脚の2パターンのモデリングを行い、支持脚は足先から、遊脚は足の付け根からモデリングを行っている。

ユーザーは軌道データの生成時に、支持脚・遊脚を切り換える。このようにモデリングすることで、支持脚を曲げた場合足の姿勢から上体の位置を計算することなく上体の位置が変わる。遊脚を曲げても上体の位置は変化しない。

5.3 アニメーション

本アプリケーションでは製作した軌道データを3DCGによるアニメーションで確認できるようになっている。シーン間の角度は3次補間により補間

を行っている。アニメーションのフローチャートを以下に示す。

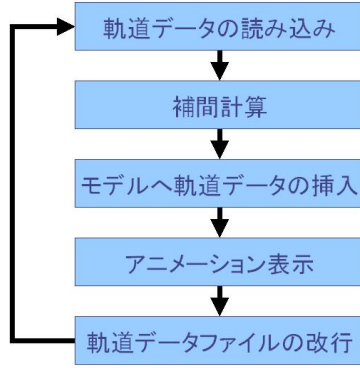


Fig. 4 Flow chart of animation

5.4 通信

実機との通信は、RS-232Cケーブルでシリアル通信を行う。近藤科学ではKHR-1のコマンドリファレンスが公開されている。これを参考にアプリケーションにシリアル通信機能を付け、作成した軌道データを実機に送信し、実行できるようにした。

6. 軌道生成法の変更

軌道データ作成の際、今までスライダーで17個の関節角度をシーンの数に応じてそれぞれ指定してきたが、それは効率的でないと考えられる。そこでユーザーは手先、足先位置のみを決定し各関節の角度を逆運動学で算出し決定することでユーザーの作業負担を減らすことにした。

7. 順運動学

順運動学(Forward kinematics)とは与えられた関節角度からリンクの位置と姿勢を求めることをいう。親リンクの座標系 Σ_i 、その絶対位置・姿勢を p_i, R_i が既知であるとし、その子リンクの座標系を Σ_j 、 Σ_i から Σ_j へのベクトルを b_j 、親リンクからみた回転軸ベクトル a_j 、関節の回転角を q_j 、回転角0の初

期状態におけるリンクの姿勢行列を E とすると順運動学の計算は以下のように表すことができる。 Σ_j の親リンク相対の同次変換行列は

$${}^i T_j = \begin{bmatrix} e^{\hat{a}_j q_j} & b_j \\ 000 & 1 \end{bmatrix}$$

ここで $e^{\hat{a}_j q_j}$ はRodriguesの式であり、一定の角速度ベクトルによって生ずる回転行列を直接与える式である。 Σ_i の同次変換行列は

$$T_i = \begin{bmatrix} R_i & p_i \\ 000 & 1 \end{bmatrix}$$

よって Σ_j の同次変換行列は

$$T_j = T_i {}^i T_j$$

のように表される。これらの式から Σ_j の絶対位置・姿勢 (p_j, R_j) は

$$p_j = p_i + R_i b_j$$

$$R_j = R_i e^{\hat{a}_j q_j}$$

となる。このようにして親リンクから子リンクの位置・姿勢を次々と求めて行くことができる。

8. 逆運動学

逆運動学(Inverse kinematics)とは順運動学とは逆に各リンクの位置・姿勢が与えられたときに、対応するロボットの関節角度を求める方法である。

本研究では順運動学を使って繰り返し計算で逆運動学を解く方法を用いた。アルゴリズムは以下のようなになる。

Step 1 目標リンクの位置・姿勢 (p^{ref}, R^{ref}) を準備する

Step 2 胴体から目標リンクまでの関節角度を並べたベクトルを q とする

Step 3 順運動学で注目するリンクの位置・姿勢 (p, R) を計算する

Step 4 位置・姿勢の誤差

$(\Delta p, \Delta R) = (p^{ref} - p, R^T R^{ref})$ を計算する

Step 5 $(\Delta p, \Delta R)$ が十分小さければ終了

Step 6 $(\Delta p, \Delta R)$ が大きければ、これを小さくする ような関節角度修正量 Δq を計算する

Step 7 $q := q + \Delta q$ として Step 3 へもどる

ここで Step 5 の $(\Delta p, \Delta R)$ が十分小さければという点は 10^{-6} より小さい時には指定した位置・姿勢が実現できたと判断した。また関節角度修正量 Δq は Newton-Raphson 法を用いて以下のように求めた。

$$\delta q = \lambda J^{-1} \begin{bmatrix} \delta p \\ \delta \omega \end{bmatrix}$$

ここで J はヤコビアン、 $(\delta p, \delta \omega)$ は現在の状態から関節角度をごくわずかに δq だけ変化させたときの位置・姿勢の微小変化量。 λ は数値計算を安定化するために用いる $\lambda \in (0, 1]$ の係数であり $\lambda = 0.5$ とした。

9. ヤコビアン

ヤコビアンとは、ロボットの微小な関節角度と空間運動の関係を表す行列である。根元より順に 1 から N までの番号が振られているとし、第 N リンクにはロボットの手や足が接続されているものとする。ヤコビアン J は以下のように表すことができる。

$$J \equiv \begin{bmatrix} {}^W a_1 \times (p_N - p_1) & \dots & {}^W a_{N-1} \times (p_N - p_{N-1}) & 0 \\ {}^W a_1 & \dots & {}^W a_{N-1} & {}^W a_N \end{bmatrix}$$

ここで p は絶対位置、 ${}^W a$ は関節軸ベクトルをワールド座標系で表したものである。KHR-1 は脚部が片脚 5 自由度、腕部が片腕 3 自由度であるので、脚部に着目した時は $N = 5$ でヤコビアンは (6×5) の行列となり、腕部に着目した時は $N = 3$ でヤコビアンは (6×3) の行列となる。

10. 結言

開発中のアプリケーションに逆運動学を用いて軌道データを生成する機能を付け加えた。今後はこれらの動作をゲームコントローラなどのデバイス機器で作成できるようにし、より簡単に軌道生成できるようにする。またこのアプリケーションには安定性の判別機能がまだないため作った軌道データでは転倒する可能性がある。よって転倒判別の機能を付け加え、さらに動力学を考慮した機能を今後付け加える。

参考文献

- 1) 有本卓: ロボットの力学と制御, 朝倉書店 (1990)
- 2) クレイトン・ウォルナム (著), 松田晃一 (訳): Win32 OpenGL プログラミング, ピアソンエデュケーション (1996)
- 3) 河西朝雄: 標準 Visual C++ プログラミングブック, 技術評論社 (2000)
- 4) 梶田秀司: ヒューマノイドロボット, オーム社 (2005)