

ヒューマノイドロボットのための教示インターフェースを有する 動力学シミュレーターの研究

a Study on a Dynamics Simulator with Teaching Interface for Humanoid Robots

李 云, 斉藤 慎太郎, 山野光裕, 那須康雄,
金子慎一郎, 水戸部和久

Li Yun, Sin-taro SAITO, Mitsuhiro YAMANO, Yasuo NASU, Shin-ichiro
KANEKO, Kazuhisa MITOBE

山形大学工学部

Yamagata University

キーワード: ヒューマノイドロボット(Humanoid Robot), 動力学(Dynamics), Open GL

連絡先: 〒992-8510 米沢市城南 4-3-16 山形大学工学部機械システム工学科
那須研究室 李 云

Tel: (0238)26-3237, Fax: (0238)26-3237, E-mail: tr346@dipfr.dip.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

近年, ヒューマノイドロボットは人間の生活空間での共存が期待されている. 人間の生活空間での共存では人間と類似した様々な動作が求められ, その実現のため, ヒューマノイドロボットの運動性能を考慮した軌道が生成されることが要求される. そして, ヒューマノイドロボット信頼性の高い挙動を得るために, 適正な構成要素を選ぶことが重要である. そこで本研究では, ヒューマノイドロボットの運動軌道の特性を確認するために, マウスやキーボードなど入力装置を利用した, 教示機能を有するシミュレーションソフト 3DCG (3 Dimensional Computer Graphics) アニメーシ

ョンを作製し, その有効性を検証する.

2. シミュレーションモデルの構成

アニメーションの対象として, 当研究室開発の Bonten-Maru と10:1の比例関係でそのモデルを作成する. Bonten-Maru は, 全長 1250 [mm], 全幅 540 [mm], 全重量 31.5 [kg]である. 図 1 にその写真と自由度配置を示す. 全自由度は 21 で, 首部に 2 自由度, 各腕部に 3 自由度, 腰部に 1 自由度, 各脚部に 6 自由度を配置されている. また, 各関節は DC サーボモータ及びハーモニックドライブによって駆動されている. 構造部及びカバーにはアルミニウム材を使用して軽量化が図られている.

本研究で作成したヒューマノイドロボットシミュレーションの各リンクの形状、寸法、質量、質量中心、慣性モーメント等が任意に指定でき、例えば、実測した人間のデータやットの実ロボパラメータなどを自由に設定することができる。

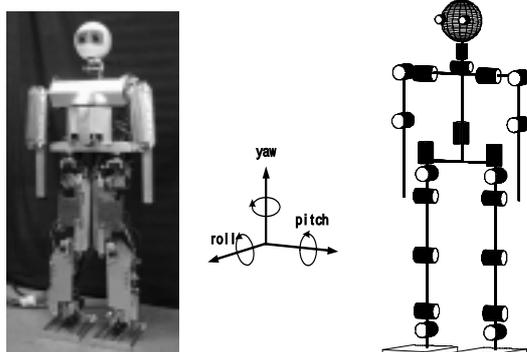


図 1 . Bonten-Maru の写真と自由度配置

3 . DCG シミュレーションの作成

3 . 1 . シミュレーションの原理と作製手順

アニメーションの原理として、複数の画像を一定時間間隔でスクリーンに表示する手法をとる。グラフィックスライブラリにはリアルタイムでの処理が可能である、Win32 上の OpenGL を用いる[1]。

作製手順としてまず、C ソースファイルとモジュール定義ファイルより構成される DLL を Visual C++ で作製する。その DLL に後述の動力で導出した各関節角度データ、腰の中心位置データ、ロボット全体の姿勢データを取り込む。次に Visual Basic のフォーム上にピクチャーボックスを作製し、DLL 関数名と位置を宣言して DLL 関数をコールする。これによりピクチャーボックスにアニメーションが描画される。

3 . 2 . 動力学を利用するシミュレーションの方法

本シミュレーションの方法では、開リンク連鎖の任意の形状のロボットをモデル化でき、各リンク部は三次元の剛体として扱われる。床に対して固定点を持たないロボットの動力学[2]を用いて実現される。動力学シミュレーションモデルは図2のように示す。

この動力学運動方程式における状態パラメーターは、各関節の状態パラメーターにロボット全体の姿勢を表す六つの状態パラメーターを加えたものである。その運動方程式の一般型は次式のように表される。

$$H(x)\ddot{x} + b(x, \dot{x}) = u + K(x)f_{EXT} \quad (1)$$

$$b(x, \dot{x}) = C(x, \dot{x})\dot{x} + g(x)$$

ここで、 $x^T = [p_B^T, q^T]$ 、 $u^T = [f_B^T, \tau^T]$ であり、また、その他の記号は以下の通り。

p_B : 仮想リンクの位置を表す

3 × 1 次のベクトル

q : 仮想関節を含む関節角度を表す

(N+3) × 1 次のベクトル

$H(x)$: (N+6) × (N+6) 次の慣性行列

f_B : 仮想リンクに生じる力を表す

3 × 1 次のベクトル

τ : 関節に生じるトルクを表す

(N+3) × 1 次のベクトル

$C(x, \dot{x})$: 遠心力やコリオリ力を表す

(N+6) × (N+6) 次の行列

$g(x)$: 重力を表す (N+6) × 1 次のベクトル

$K(x)$: 外力を一般化座標に変換する

(N+6) × 2M 次の行列

f_{EXT} : 外力を表す 2M × 1 次のベクトル

N : 歩行ロボットの関節の数

M : 床と足の裏との接触点の数(時変)

この式の中で, $H(x)$ 及び $b(x, \dot{x})$ を求めた後, 逆動力学演算[3]を用いて, 外力変換行列 $K(x)$ の各成分を求め, 入力トルク τ と後述の床からの拘束力 f_{EXT} を与えれば,

式(1)の運動方程式を \ddot{x} について数値積分することによって, 床に対して固定点を持たないロボットの運動を完全にシミュレーションできる. この式の中で, $H(x)$ 及び $b(x, \dot{x})$ を求めた後, 逆動力学演算[3]を用いて, 外力変換行列 $K(x)$ の各成分を求め, 入力トルク τ と後述の床からの拘束力 f_{EXT} (床の反力)

を与えれば, 式(1)の運動方程式を \ddot{x} について数値積分することによって, 床に対して固定点を持たないロボットの運動を完全にシミュレーションできる.

シミュレーションにおいてロボットを床に支えておくためには, その接触点に発生する適当な反力を各時間ステップごとに計算しなければならない. そこで, 運動量保存則より次式が成立する.

$$H(x)(\dot{x}_+ - \dot{x}_-) = K(x)\Delta f + \Delta f_b \quad (2)$$

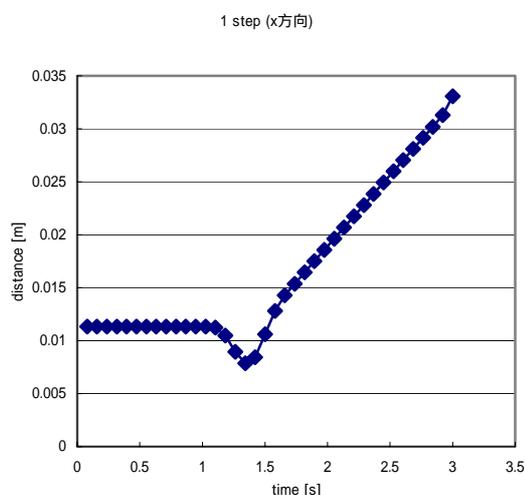
但し, \dot{x}_+, \dot{x}_- はそれぞれ衝突前と衝突後の一般化速度を表す.

$\Delta f = f_{EXT}\Delta t$, $\Delta f_b \approx (u - b(\dot{x}, \dot{x}))\Delta t$ である. この式から床からの拘束力 f_{EXT} を決めることができる. そして, 動力学からシミュレーションにおいて必要な各種パラメータはロボットの設計による決まる. 本ロボットでは次の表の通りである.

表1. Bonten-Maru のパラメータ

	Mass [kg]	Inertia Ix [Kgm ²]	Inertia Iy [Kgm ²]	Lengt h [M]
Head	0.45	0.0005	0.0004	0.194
Shoulder-y	5.45	0.1301	0.007	0.445
Upper arm	1.96	0.0145	0.014	0.18
Lower arm	0.16	0.0013	0.0001	0.28
Hip-y	9.39	0.1578	0.048	0.208
Upper leg	1.97	0.0177	0.022	0.27
Lower leg	2.06	0.022	0.02	0.27
Foot	1.73	0.0037	0.0069	0.088

前述したパラメータにて1歩間2.5秒のシミュレーションを行った. その結果として, ロボット水平面内重心位置を図2に示す. 但し歩幅小さく, 静止に近い状態であることを示す.



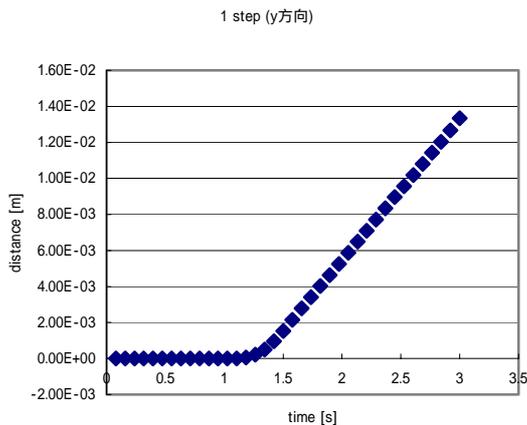


図2 . 歩行シミュレーションの重心の軌道

3.3シミュレーションの操作

図3に Visual Basic による GUI を示す . 描画ボタンを押すことによりモデルの初期状態が表示され , スタートボタンを押すとシミュレーションが開始する . 更に , 操作しやすいために , マウスやキーボードなど入力装置がシミュレーションを制御できるように設定する , 図3には例として歩行の初期状態が描画されている . またズームや視点変換等の機能の導入により , 様々な視点から軌道の確認及び検証をすることが可能である .

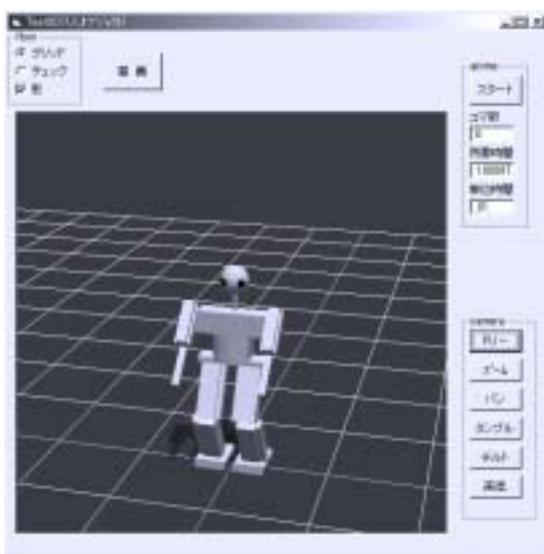


図3 . シミュレーション操作画面

3.3.1 ここで操作画面の各種機能について説明する .

する .

描画

アニメーションの初期状態を描画する .

(a) floor

グリッド: 床をグリッドにする .

チェック: 床をチェック模様にする .

影: 影の有無を選択する .

(b) anime

コマ数: フレームの総数を示す .

スタート: アニメーションを実行

カメラ位置を固定し , 対象物体を拡大したり縮小したりする操作 .

所要時間: アニメーションの所要時間を示す

単位時間: フレームをつなぐ単位時間を示す .

いろんな視点からシミュレーションを展示するために , カメラ機能を設定する . 各機能の概要は以下に示す

(c) パン

カメラ位置を固定し , 水平面内視点を動かす操作 .

(d) タンプル

注視点を固定したままで , 注視点までの距離を一定に保ちながらカメラを左右に移動する操作 .

(e) チルト

カメラを左右に傾ける操作 .

(f) 高低

注視点を固定したままでカメラを上下に移動する操作 .

(g) ドリー

カメラを対象物体に近づけたり遠ざけたりす

る操作 .

(h) ズーム

3.3.2 マウスやキーボードの機能について説明する .

マウスの位置によって視点を移動させるものである . ピクチャーボックスの上部をクリックした時 , 視点が注視点の方向に移動し , 下部をクリックした時遠ざかるように移動する . また , 左側をクリックした時は左方向へ旋回し , 右側をクリックした時右側へ旋回し . そして , キーボードの `←` , `→` , `↑` の操作によって , ヒューマノイドロボットのモデルは右 , 左 , 後 , 前に歩行方向を変換させる .

4. シミュレーション実験

図4に示すヒューマノイドロボット歩行シミュレーション結果である . 1歩あたりの時間を2.5秒であり , 全歩行は30秒掛かる . その他 , 図5に示されるヒューマノイドロボットのしゃがみのアニメーションも作成した .

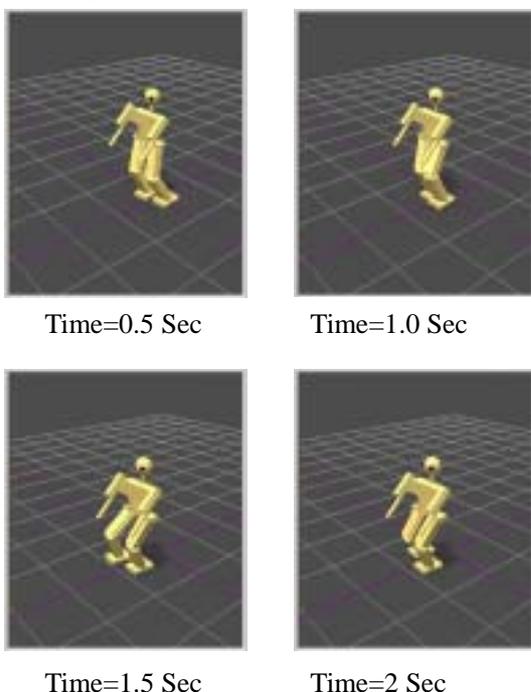


図4 . 歩行ロボットシミュレーション

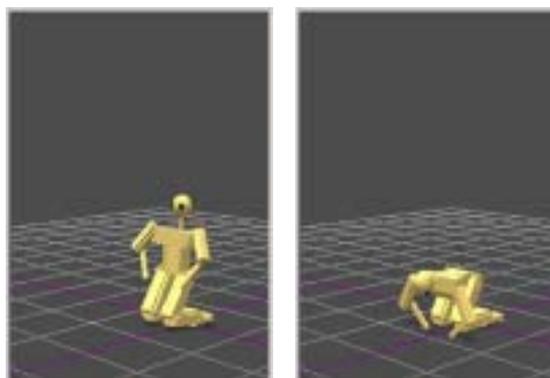


図5 . しゃがみアニメーション

5. おわりに

本研究では , ヒューマノイドロボットの動力学を考慮し , 歩行シミュレーションを行った . 今後 , マウスやキーボードなど入力装置で教示できるような機能を加えていく予定である . 本研究で作成したシミュレーションは , 操作は便利という点で優れている .

参考文献

- [1] 酒田幸市 : OpenGL3D プログラミング
- [2] 藤本康孝 , 河村篤男 : 床との衝突および摩擦を考慮した2足歩行ロボットの三次元運動シミュレーション , ロボット学会誌 , Vol . 15 , No . 6 , pp.857-863 , 1997 .
- [3] John J. Craig : Introduction to Robotics , Addison-Wesley , pp.195-201 , 1990