

RoKi FD エンジンを用いたロボット制御システムの検証メソッド

Verification Method for Robot Control System with RoKi FD Engine

学 脇坂尚樹 (大阪大) 正 杉原知道 (大阪大)

Naoki WAKISAKA, Osaka University, naoki.wakisaka@ams.eng.osaka-u.ac.jp

Tomomichi SUGIHARA, Osaka University, zhidao@ieee.org

RoKi FD engine which is a dynamics simulator for robotics was proposed. The simulator has some advantage that the step size can be large, the computed forces are reasonable and the joint static friction can be computed. Since the library of the FD engine provides low level functions for dynamics simulation and the controller module is derived from the dynamics calculation module, it is easy to utilize the original program of the controller to verify the control system. This paper explains the structure of RoKi FD engine and introduces examples of verification.

Key Words: Contact Force Computation, Forward Dynamics Simulation, Polygonal Approximation

1 緒言

作成したロボット制御システムの検証のために、動力学シミュレータを利用することは有効な手段の一つである。動力学シミュレーションは、実機を用いることなく様々な物理量を推定評価することができる。ロボットモデルや環境モデルの変更、制御システムパラメータの調整など設計変更も比較的容易であり、様々な状況におけるシステムの動作を検証することが可能である。我々はこれまでにロボットの運動学計算ライブラリ RoKi とロボット動力学シミュレータ RoKi FD エンジンを開発してきた。RoKi ではロボット基礎的な運動計算である、剛体とそれをつなぐ関節からなる剛体リンクモデルにおける順運動学、逆運動学、順動力学、逆動力学計算を行うことができる。RoKi FD エンジンは接触判定、接触力計算を含む順動力学計算と数値積分による時間発展計算を合わせた物理シミュレータエンジンである。これまでに様々な開発を行っており、高速でより自然な接触力計算方法 [1][2]、高速な関節静止摩擦計算 [3] が可能である。

ロボット動力学エンジンは様々なソフトウェアが開発されている [4][5][6]。これらのエンジンの多くは、制御器を実装するためにソフトウェア固有の制御モジュールを作成する必要がある。これは、シミュレーションの時間発展計算を主体として設計されていることによる。つまり、シミュレーションのループ計算の中で制御器からシミュレータへ制御入力を送る部分がある構造になっている。動力学エンジンはそのループ計算全体を提供している。そのため、制御システムの検証のためには各々のソフトウェアに合わせて新しく制御モジュールプログラムを書く必要がある。それに対して、我々が開発している RoKi FD エンジンでは、より低次のライブラリを提供している。本ライブラリでは運動計算モジュールと制御器モジュールとの間の繋がりが疎になるよう設計している。そのため、制御ループを主体とした動力学シミュレーションが比較的容易に実現できる。これは、検証する制御システムプログラムそのものの持つ制御ループの中に、運動計算による状態の更新部分を設ける構造となる。制御ループを主体としたシミュレーションは、開発した実際のロボットを動かす制御器プログラムを検証するとき新たに実装する要素が少なく、比較的容易に開発された制御器をそのまま用いて検証をおこなうことができる。

本稿では、2章で動力学シミュレータ RoKi FD エンジンの構造と特徴を説明し、3章で我々の研究室における本エンジンの利用例について紹介する。

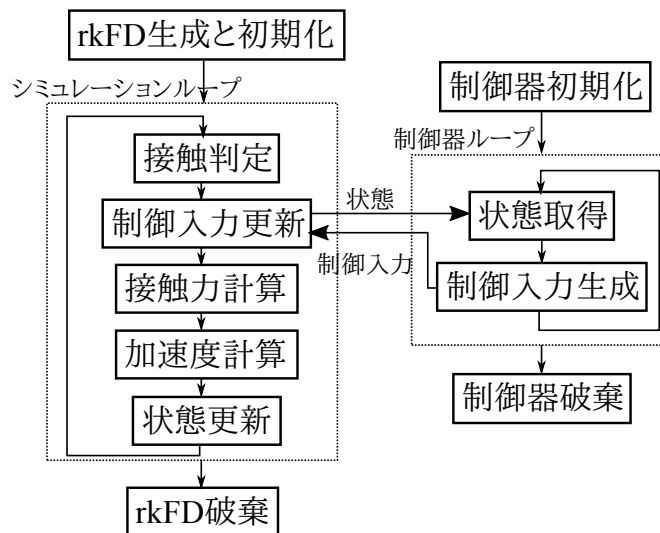


Fig.1 Connection between simulation and controller

2 RoKi FD エンジン

本章では、RoKi FD エンジン (以下 rkFD) の運動計算部分と制御器部分と繋がりを含む時間発展計算の構造と運動計算における rkFD の特徴的な性能を説明する。

2.1 制御器との接続

rkFD の時間発展計算の流れと検証する制御器や制御ループとの関係を Fig.1 に示す。制御器はシミュレーションループの制御入力更新と接続する。制御入力更新において、rkFD では現在のロボットの位置・姿勢、接触力、関節摩擦力を制御器に提供する。制御器はそれらの情報を受け、アクチュエータへの制御入力値を rkFD に返す。実際のロボットシステムに対しても、制御器はセンサから得られる複数の物理量からアクチュエータへの入力を生み出す。そのため、実際の制御器プログラムと rkFD との接続部分は比較的簡単に実装することができる。

ただし、rkFD 内で利用するロボットモデルについては、専用の形式で記述されたモデルファイルが必要である。しかしながら、本ライブラリで利用できるロボットモデルは、詳細は割愛するが、タグ、キーと値で直感的に記述できる形式を採用している。

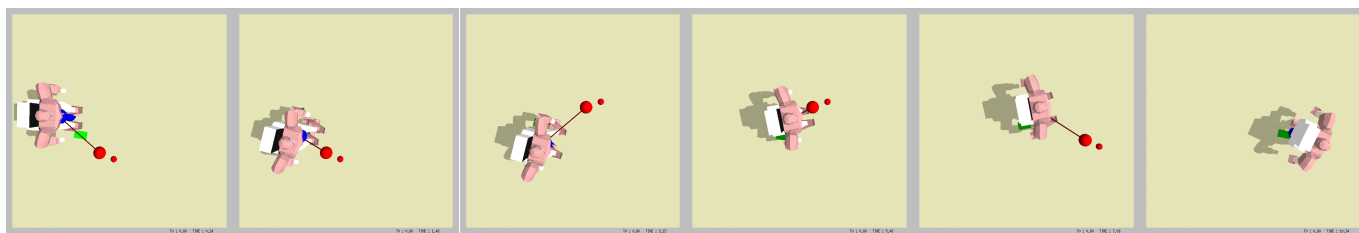


Fig.2 Snapshots of the simulation of a walking humanoid robot [7]

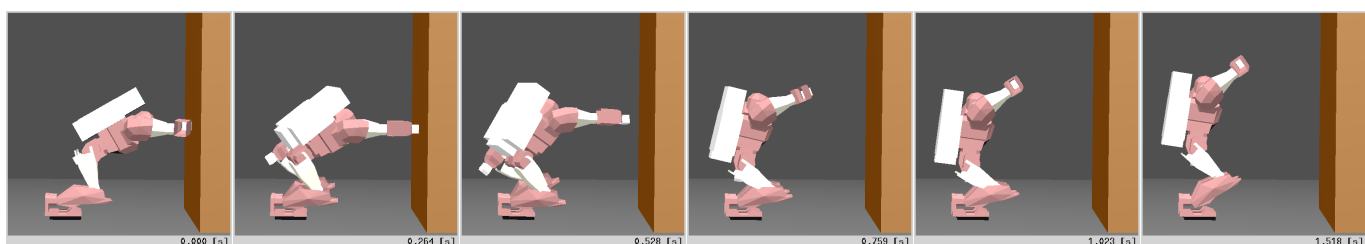


Fig.3 Snapshots of the simulation of a humanoid robot[8]

2.2 動力学計算における特徴

我々はこれまでに動力学計算において大きく2つの提案をした。一つは、安定で数値誤差によって生まれる不自然な分布を抑えた接触力計算 [1] である。この方法では、接触の硬さが2つのパラメータで表現されているが、数値的安定性のためにそれらのパラメータを繊細に調整する必要はない。もう一つの提案は、高速な関節静止摩擦トルク計算 [3] である。rkFD ではアクチュエータダイナミクスを考慮することができる。例えば DC モータと減速機で構成されていれば、ロータ慣性、逆起電力、摩擦モデルなどを考慮することが可能である。その中でも制御性に大きく関わる関節静止摩擦トルクを低コストで計算することができる。

3 ロボット制御システムの動力学シミュレーション実例

本章では、本研究室において実際に RoKi FD エンジンを利用して行われたロボット制御システムの開発例を紹介する。また、rkFD はより高機能なソフトウェア上へも容易に実装することができ、ロボット統合開発環境 Choreonoid[6] ヘプラグインとして実装されている。Choreonoid 上で rkFD を実行した例も合わせて紹介する。

3.1 人型ロボット歩行制御システムの検証 [7]

山本ら [7] では、人型ロボットの歩行制御システムの検証に rkFD を利用している。本方法は、人型ロボットに目標重心位置を与えリアルタイムに追従する歩行制御である。その様子を Fig.2 に示す。rkFD による動力学シミュレーションを行ってリアルタイムでシステムの検証を行うことができた。

3.2 人型ロボット運動計画の検証 [8]

田中ら [8] では、人型ロボットの環境との相互作用を考慮した運動生成の検証に rkFD を利用している。その様子を Fig.3 に示す。

3.3 統合開発環境 Choreonoid 上での人型ロボット歩行

Choreonoid 上で rkFD を用いて動力学シミュレーションを行った結果を Fig.4 に示す。

4 結言

本稿では、動力学シミュレータ RoKi FD エンジンについて紹介した。rkFD は低次のロボット動力学計算ライブラリであり、実際に使用する制御器プログラム内の制御ループをもとに動力学

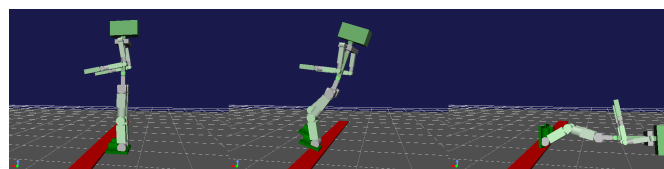


Fig.4 Snapshots of the simulation of a walking humanoid robot on Choreonoid

シミュレーションを行いやすい構造となっている。また、rkFD の使用例として本研究室での研究を2件と Choreonoid 上での利用例を示した。

謝辞 本研究は、科学技術振興会革新的研究開発推進プログラム「タフ・ロボティクス・チャレンジ」(PM 田所諭)「極限環境シミュレーションプラットフォーム Choreonoid の開発」(代表:金広文男)の支援を受けた。

参考文献

- [1] Naoki Wakisaka and Tomomichi Sugihara. Fast and reasonable contact force computation in forward dynamics based on momentum-level penetration compensation. In *Proc. of the 2014 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2434–2439, 2014.
- [2] 脇坂尚樹, 杉原知道. 多角錐近似による接触力制約条件を用いた干渉立体形状に基づく剛体接触力計算 1p1-10a4. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2016.
- [3] Naoki Wakisaka, Ryo Kikuuwe, and Tomomichi Sugihara. Fast forward dynamics simulation of robot manipulators with highly frictional gears. In *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 2096–2110, 2016.
- [4] <http://www.ode.org/>.
- [5] <http://www.mujooco.org/>.
- [6] <http://choreonoid.org/ja/>.
- [7] 山本孝信, 杉原知道. 即応的離散・連続制御の併用による二脚ロボットのロバスタ誘導システム. 第17回システムインテグレーション部門講演会, pp. 208–211, 2016.
- [8] 田中健也, 杉原知道. Nurbs による人型ロボットのインタラクティブ動作設計 i: Nurbs の構造を用いた zmp 制約を満たす高速軌道修正, 3y1-07. 第17回システムインテグレーション部門講演会, 2016.