

The 25th Annual Conference of
the Robotics Society of Japan



第25回 日本ロボット学会 学術講演会

講演概要集

- 会期 ▶ 2007年9月13 ~ 15日
会場 ▶ 千葉工業大学津田沼キャンパス
主催 ▶ (社)日本ロボット学会

分散コンポーネント型ロボットシミュレータ OpenHRP3

(独)産総研 ○比留川博久, 金広文男, 中岡慎一郎, 末廣尚士, 神徳徹雄, 安藤慶昭
東京大学 中村仁彦, 山根克 ゼネラルロボティックス (株) 齋藤元, 川角祐一郎

A Robot Simulator constructed on Distributed Object Modules

*Hirohisa Hirukawa, Fumio Kanehiro, Shinichiro Nakaoka,
Takashi Suehiro, Tetsuo Kotoku, Noriaki Ando(AIST) Yoshihiko Nakamura,
Katsu Yamane(Univ. of Tokyo) Hajime Saito, Yuichiro Kawasumi(GeneralRobotix, Inc.)

Abstract — This paper overviews a robot simulator constructed on distributed object modules which is under development in a JST project. The distributed object modules are implemented by RT middleware that is proposed to be a standard middleware for robotic technologies. The forward dynamics engine is to be implemented by an $O(n)$ algorithm as well as $O(\log n)$ one by parallel computing.

Key Words: dynamics simulator, RT middleware, CORBA

1. はじめに

本研究は、ロボットソフトウェアの蓄積に適した分散コンポーネントフレームワークと、この上に構築されたロボットワールドシミュレータを開発することにより、基盤ソフトウェアの再利用を促進し、次世代ロボットの開発を効率化することを目的としている。具体的には、図1に例を示すような、移動ロボット、マニピュレータ、脚型ロボット等の多様なロボットを対象として、視覚処理や運動制御をモジュール単位でシミュレーション可能なソフトウェアをオープンソースで提供し、この上で稼動するソフトウェアの共通基盤技術化を図ろうとするものである。

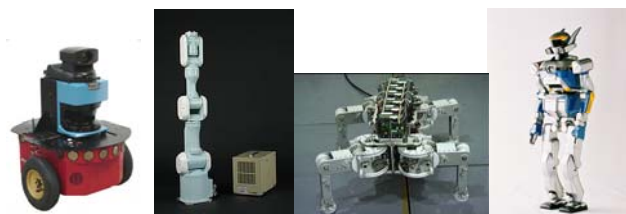


図1 対象となるロボットの例

本稿では、計画内容の概要とシミュレータ (OpenHRP3 と呼ぶ) の開発状況について述べる。

2. 研究内容

2.1. RT ミドルウェアを用いた分散コンポーネントフレームワークの研究開発

本研究では、ロボットのセンサ・アクチュエータ等の各種ハードウェアおよび、制御、動作計画、シミュレータといったソフトウェアをコンポーネント化し、実機とシミュレータのシステムを分散コンポーネントフレームワーク上に構築することを目標としている。このための分散コンポーネントフレームワークの仕様は、次のように設定した。

- **(開発自由度)** RT コンポーネントは、開発者が自由にインタフェースを定義し機能を外部に

提供する RTComponent Service フレームワークを提供すること。

- **(再利用性)** RT コンポーネントは、プログラムを再コンパイルすることなしに設定を外部から変更できる Configuration インタフェースを実装すること。
- **(インテグレーション)** シミュレータを構成する RT コンポーネントは、グラフィカルユーザインタフェース、モデルパーザ、干渉チェッカ、動力学シミュレータ、センサーシミュレータ、コントローラを構成コンポーネントとする。これらのコンポーネントはそれぞれ1つあるいは複数の RTComponent Service として実装すること。
- **(実機との連携)** シミュレータと実機がコンポーネントとして交換可能であり、相互にシームレスに利用可能な枠組みを RT コンポーネントおよび RT コンポーネントマネージャに実装すること。
- **(稼働環境)** Linux および Windows の両プラットフォームで利用可能であること。

これらの仕様を満たすため、NEDO プロジェクトの成果であり、国際標準化団体の OMG(Object Management Group)でロボット用ミドルウェアの標準規格となる予定となっている RT ミドルウェアを拡張して利用することとした。具体的には、以下の課題について研究を行ってきている。

①シミュレータフレームワークの設計

シミュレーションおよび実機の研究開発をコンカレントに行うことができる統合シミュレーションシステムを RT ミドルウェアにより構築するために必要とされる機能の設計を行った。

まず、開発の自由度、再利用性、インテグレーションおよび実機との連携などの視点からモジュール化されたソフトウェアに求められるインタフェースを整理した。この検討に基づき、図2のように従来

の RT コンポーネントのモデルに、サービスとコンシューマのインタフェースおよびコンフィギュレーションインタフェースを追加した。

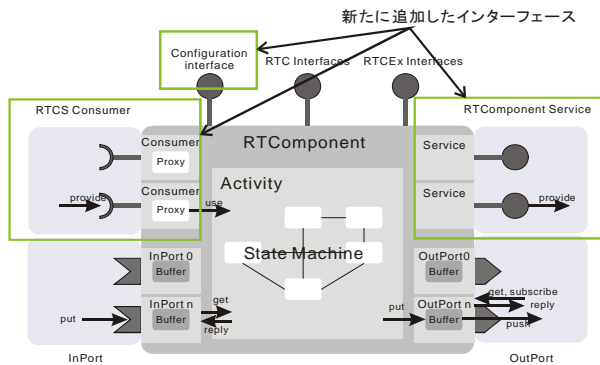


図2 RT コンポーネントに追加したインタフェース

②シミュレータフレームワークの実装

上記仕様に基づいて、RT ミドルウェアとしての実装を開始した。具体的には RTComponent Service および Service Consumer フレームワークのためのインタフェース設計および IDL の記述を検討し、一部について試験的に実装した。また、Configuration インタフェースの設計および IDL の記述が完了した。さらに、Windows および Linux の両プラットフォームで利用可能な RT コンポーネントフレームワークおよび相互運用可能性に関し調査し、C++/Python および Windows/Linux の相互運用性を確認した。

③シミュレータのための標準インタフェース仕様の策定

シミュレータにおいて核となるエンジン部分には、動力学シミュレータサービス、干渉チェックサービス、モデルローダサービス等いくつかのサービスコンポーネントが含まれる。このエンジンとロボットのセンサ・アクチュエータ等のコントローラコンポーネントのインタフェース仕様を策定した。

2.2. 基本コンポーネントの研究開発

産総研と東京大学は、OpenHRP2 と呼ばれる動力学シミュレータを HRP プロジェクトで開発し、これまで国内外 150 以上の機関に対して提供している。本研究では、OpenHRP2 の構成の見直し、重複機能の整理、モジュールインタフェースの統一を行った。

まず、ロボットワールドシミュレータ全体の仕様を検討し、全体仕様に基づいて再利用性、拡張性等の観点からグラフィカルユーザインタフェース (GUI)、動力学計算エンジン、干渉チェック、コントローラ、デバイスシミュレータといった基本コンポーネントに分割し、各コンポーネントの仕様を決定

した。設計したシミュレータの全体構成を図3に示す。

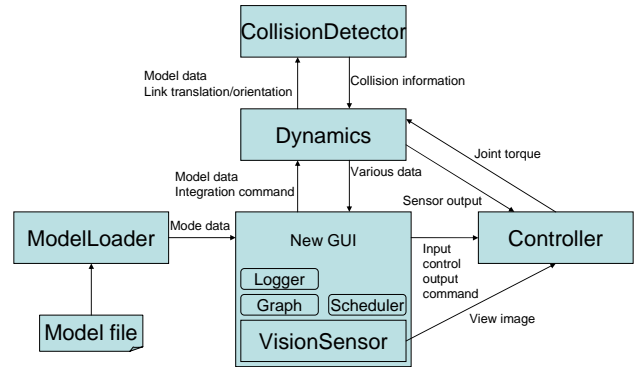


図3 シミュレータの構成

GUI は演算部分とは別コンポーネントとし、シミュレーションのパラメータ設定や実行制御は GUI を用いて対話的に行えるだけでなく、学習などの用途で設定を変えながら繰り返し実行できるようにユーザプログラムからも行えることを目指している。GUI の概要を図4に、画面の例を図5に示す。詳細については、別報[3]を参照されたい。

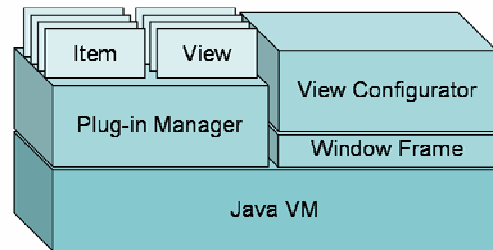


図4 GUI の概要

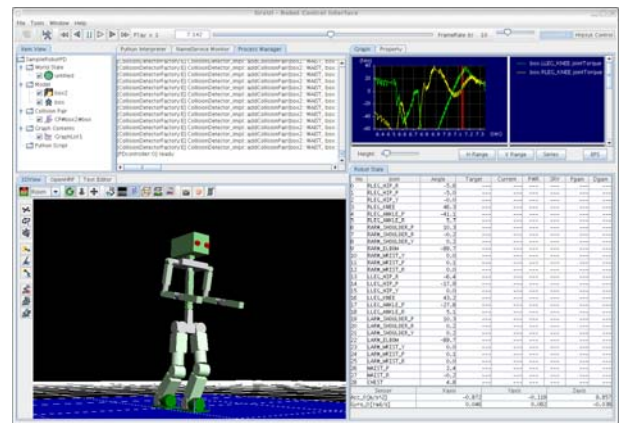


図5 GUI 実行画面の例

デバイスシミュレータは、ロボットを構成するアクチュエータやセンサ等のデバイスの機能をシミュレートするコンポーネントである。このコンポーネントと実際のデバイスへの入出力を行うコンポーネントのインタフェースを統一することで実際のロボ

ットとシミュレーション世界にあるロボットを等価に扱えるようにする。

干渉チェックについては、ソースコードでの配布を実現するためOPCODEをエンジンとして利用した。ORBにはJava ORB, omniORBを使用している。

基本コンポーネントの動作を検証するため、FeatherstoneのABAとLCPに基づく反力計算を用いて動力学計算エンジンを実装した。これを用いた複数物体の落下シミュレーションの様子を図6に示す。こちらの計算エンジンについても公開予定である。詳細については、別報[4]を参照されたい。

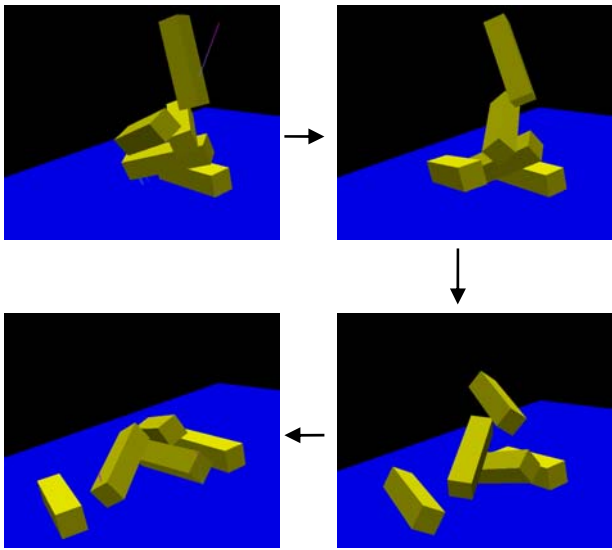


図6 複数物体の落下シミュレーションの例

以上のコンポーネントの中、ユーザが開発するのはコントローラである。そこで、OpenHRP3では、コントローラをRTミドルウェアによりコンポーネント化することとした。詳細については、別報[5]を参照されたい

2.3. 動力学シミュレータコンポーネント

超多自由度ヒューマノイド、車輪・脚駆動型移動ロボットなど、広いクラスのロボットシステムの運動を対象とする汎用的で効率的な動力学シミュレータの計算エンジンを開発中である。特に、数値計算の安定性、並列計算の効率に注目したプログラミングと実装を目指している。また、検証用のロボットによりシミュレーションと実験の整合性を検証するとともに、シミュレーションの精度を高めるための知見を集める。以上述べた目的を達成するため、以下の項目について研究開発を行っている。

①数値安定性を考慮した動力学計算に関する研究

基本的な順運動学計算・逆動力学計算を実装し、単一プロセスで計算量がリンク数に比例する順動力

学計算法を実装した。これにより閉リンク機構を含む剛体リンク機構の動力学シミュレーションが可能になった。実装した順動力学計算法は、全てのリンクが独立(関節による拘束がない)状態からスタートし、その関節で働く拘束力と発生する加速度を計算しながら関節を1つずつ追加していくassemblyステップと、最後に追加された関節からスタートし、assemblyステップと逆の順序で全関節の最終的な拘束力と加速度を計算するdisassemblyステップから成る。構造可変リンク系のシミュレーション例を図7に示す。

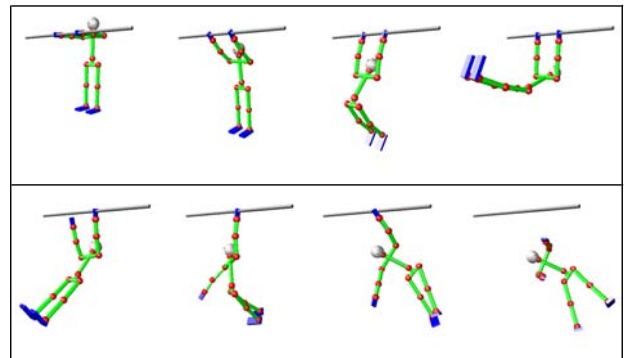


図7 構造可変リンク系のシミュレーション例

古典的な順動力学計算方法である単位ベクトル法と、上記計算方法を用いて計算したときの誤差を比較したグラフを図8に示す。このように、提案手法では誤差が1/10~1/100になっている。理由としては、単位ベクトル法では系全体の慣性行列を考えるため、逆行列の計算に誤差が生じやすいのに対し、開発した手法では扱う行列が大きくとも6×6までであり、大きな行列の逆行列を計算していないことが考えられる。

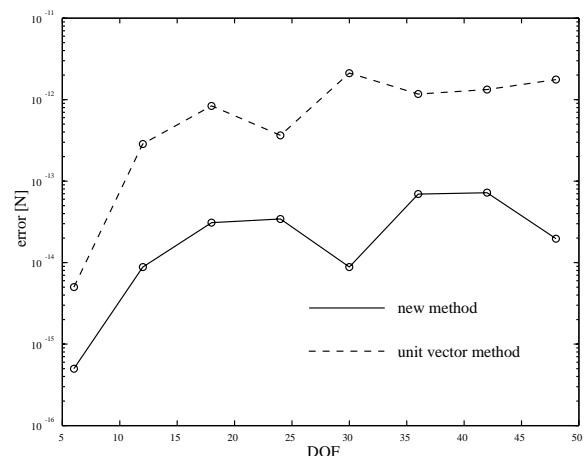


図8 提案手法と単位ベクトル法による誤差の比較 (実線:提案手法, 破線:単位ベクトル法)

上記の結果から、提案手法を使うことにより従来

の単位ベクトル法より数値安定性が向上することが期待できる。しかし、質量分布に偏りがある場合や、質量に比べて力が大きい場合には数値的に不安定になる可能性が高いが、assembly ステップにおいて、各関節が結合しようとする 2 つのリンク機構の質量ができるだけ均等になるようにすること、質量と比較して大きな力を受ける関節を追加する順序をできるだけ遅くし、その部位のみ小さな時間幅でシミュレーションを行うことにより対処可能であることが確認されている。

数値安定性を向上させるため、反力計算についても、物体の変形を仮定せず、接触点における拘束条件と接触力としての条件を満足する反力を求める方法を開発した。本手法では、まずこの問題を数値最適化の分野でよく知られている線形相補性問題 (Linear Complementary Problem, LCP) として定式化した。線形相補性問題の解法としては大きく分けて収束計算によるものと要素の交換 (Pivot) によるものが知られている。収束計算による方法は実装も容易で実用的であるが、摩擦を含む接触問題を定式化した場合には数学的に収束する保証がない。一方、要素の交換による方法は数値的に安定に実装するのが難しいが、数学的な裏づけがある。本研究では要素の交換に基づき、ロボットの接触問題に特有の問題を解決するための工夫をすることで安定な解を高速に求める手法を開発した。接触を含むシミュレーションの例を図 9 に示す。

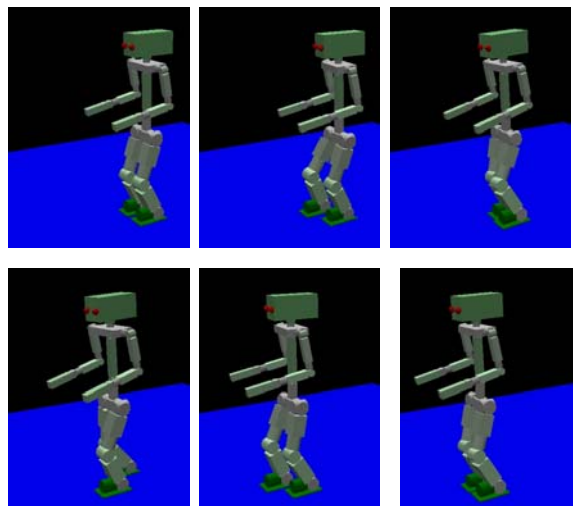


図 9 接触を含むシミュレーションの例

②動力学アルゴリズムの並列化に関する研究

動力学計算を高速化するために複数 CPU による並列計算が可能なアルゴリズム、およびそれを実行するソフトウェアを開発した。また、1 個以上の任意の数の CPU に対応して、CPU 数、計算量、数値安定性を考慮した最適なアルゴリズムを自動的に生成する手法も開発した。1～4 プロセスによる計算時間の例

を表 1 に示す。

表 1 1～4 プロセスによる計算時間の例

自由度数	52	161
関節数	19	53
1 プロセス [ms] (1 プロセス = 100)	0.301 (100)	0.773 (100)
2 プロセス [ms] (1 プロセス = 100)	0.186 (62)	0.443 (57)
4 プロセス [ms] (1 プロセス = 100)	0.177 (59)	0.356 (46)

3. おわりに

本研究で開発シミュレータは、主要部分のソースコードを開示し、様々なプロジェクトの利用に供する計画である。各府省のプロジェクト参加者、利用コンソーシアムメンバを対象として提供を開始することを想定している。現在、ライセンス、配布方法、配布対象等の詳細な検討を行っているところである。また、講習会も計画している。多くのユーザの利用を期待したい。

謝辞

本研究は、文部科学省の科学技術振興調整費による「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」の一環として実施したものである。ここに感謝の意を表す。また、本研究の実施中に急逝された科学技術連携施策群次世代ロボット主監谷江和雄氏に感謝するとともに、哀悼の意を表す。

参考文献

1. 神徳, 安藤, 末廣, RT ミドルウェアを用いた分散コンポーネントフレームワーク, RSJ2006.
2. 山根, 中村, 分散コンポーネント型ロボットシミュレータにおける順動力学エンジンの計算効率, RSJ2006.
3. 川角, 斎藤, ロボットシミュレータのプラグイン拡張可能な GUI フレームワークの開発本講演会.
4. 中岡他, Gauss-Seidel 法の拡張による関節機構の接触/拘束力計算, 本講演会.
5. 安藤, 金広, 中岡, 神徳, 比留川, 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ OpenHRP3--RT コンポーネントを用いた実機と可換な制御ソフトウェア開発機能--, 本講演会.