

ソフトウェア・ハードウェアの同時モジュール化による 多体システムの動的制御

日大生産工 ○和地 天平 日大生産工 (学部) 藤城 裕理
日大生産工 (学部) 保坂 篤紀 日大生産工 綱島 均

1 緒言

近年の機械システムは複雑化・多様化が進み、様々な分野で利用されることが増えてきた。その結果、専門知識を持たないユーザーによって利用される機会や、これまでにない要求を受けることが増えてきている。しかし、複雑な構造を持つ機械システムは、モデル作成や制御設計の手順が煩雑化するという問題がある。特に、動力学モデルは、対象の運動特性を考慮した制御を行う上で必須であり、それらを制作するための手順を簡略化する手法が求められている。本研究では、それらの手順を簡略化するために、ソフトウェアとハードウェアを同時にモジュール化する新しいモジュール化の概念を提案する。これまでの研究で、提案するモジュール化の概念を利用した、動作制御手法と動作生成手法を提案し、実験とシミュレーションによって有効性を検証してきた。しかし、これまでの実験では、モジュール化されたソフトウェアは集中計算が行われていた。本報告では、これまでの研究で得られた、提案するモジュール化の概念利用の有効性と、分散制御の有効性を検証するためのシステム構成について述べる。

2 提案するモジュール化の概念

モジュール化とは、システムを構成する要素を、要素ごとの相互依存性を下げることで細分化し、個別に扱うことを可能とする概念である²⁾。モジュール化を行うことによって複雑なシステムが要素ごとの単純なシステムとなり、扱いが容易になる。

多くの機械システムは多体システムと呼ばれるシステムであり、複数の関節とリンクによって構成されている。こういったシステムは、各リンクの相互影響によって複雑な動特性を持っている。そのため、動力学モデルや制御用のプログラムはモジュール化が難しい対象で

あった。本研究では、そういったシステムのモジュール化を実現するために、ハードウェアとソフトウェアを同時にモジュール化する手法を提案する。Fig.1に提案するモジュール化手法の概念図を示す。

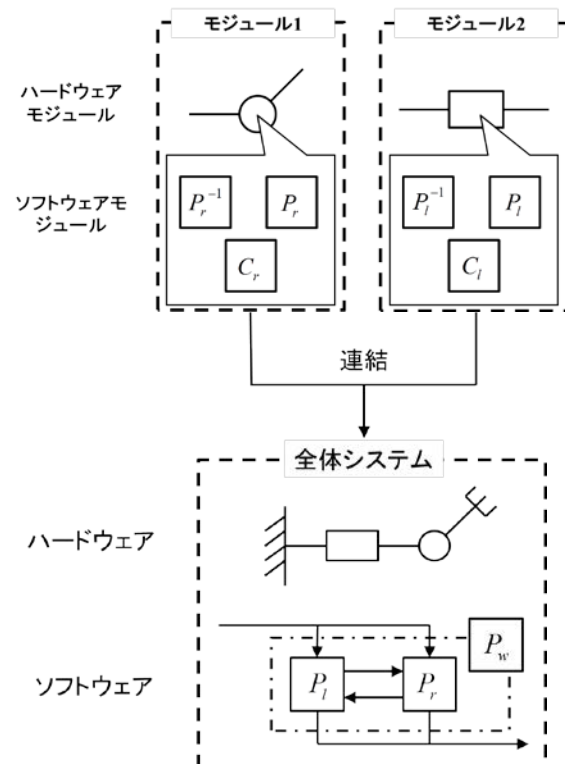


Fig.1 ハード・ソフトの同時モジュール化

Fig.1上に示すように、提案するモジュール化の概念では、ハードウェアのモジュールに対して、あらかじめ動力学モデルや制御器を設計しておき、それらのソフトウェアをあわせて一つのモジュールとして扱う。Fig.1下に示すように、ハードウェアモジュールが連結された場合、ソフトウェアモジュールは境界条件を入出

Concurrent modularization approach of hardware and software
for dynamic control of multi-body system

Tempei WACHI, Yuri FUJISHIRO, Atsuki HOSAKA and Hitoshi TSUNASHIMA

力という形で連結し、それによって相互依存性を補完する。

このような構造とする事で、要素ごとの制御器設計を可能とし、ハードウェアの変化に伴う動力学モデルの再構築の手順を簡易化する。

3 提案する概念を利用した動作制御

3.1 仮想ポテンシャル法による接触回避

本節では、仮想ポテンシャル法を用いた、接触回避制御について述べる。仮想ポテンシャル法とは、ロボット等の動作空間上に、リスクに応じた斥力ポテンシャル場と、目標地点を最低値とする引力ポテンシャル場を仮想的に定義し、ポテンシャル場から受ける力の合力を利用して、障害物の回避や、目標地点への到達を実現する動作制御手法である³⁴⁾。本研究では特に障害物の持つ斥力ポテンシャル場に着目し、接触回避制御を提案するモジュールによって実現した。

3.2 制御アルゴリズム

Fig.3 に斥力ポテンシャル場による、接触回避制御の制御アルゴリズムを示す。

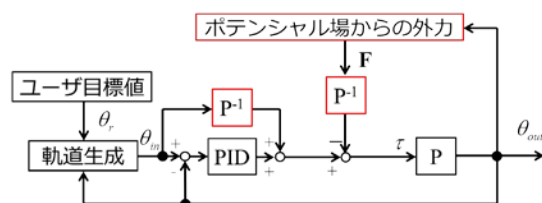


Fig.3 接触回避制御の制御アルゴリズム

Fig.3 中の、P は制御対象、P⁻¹ は制御対象の逆動力学モデル、PID はPID 制御器を示している。制御対象は生成された動作に対して、逆動力学モデルとPID制御器による2自由度制御を受けている。その状態で、仮想ポテンシャル場による仮想的な斥力を受けている。仮想的な斥力を実際の制御対象に対して直接与えることは出来ないため、逆動力学モデルを用いて、等価なトルクへと変換して制御対象に加えている。

Fig.3 中の、赤い枠によって囲まれた、逆動力学モデル、ポテンシャル場からの外力を計算するブロックが、モジュール化されたソフトウェアによって与えられている。

3.3 制御実験

2 リンクのマルチリンクロボットアームを用いて、接触回避制御の制御実験を行った。

Fig.4 に対象とした実験装置を示す。

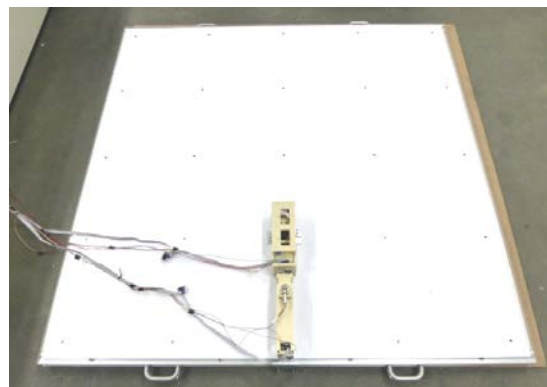


Fig.4 実験装置の写真

Fig.4 に示すのは、本研究で提案する概念を検証するために制作した実験装置である。図中のクリーム色のユニットが、関節単位でモジュール化されたハードウェアであり、連結することによってマルチリンクロボットを模している。関節モジュールは白いテフロン製のボード上をスライドしながら移動し、2次元平面上での動作を模擬している。実験では、Fig.4 のロボットアームに対し、仮想空間上のロボットアームとの接触を回避する制御を行う。Fig.5(a)(b)に動作の模式図を示す。Fig.5(a)(b)中の右側のアームが実機であり、左側のアームが仮想的なアームを示している。Fig.5(a)が初期状態を示しており、Fig.5(b)に示す姿勢までアームを動かすことを動作目標とする。

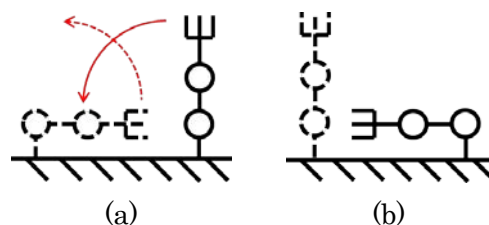


Fig.5 アームの動作目標

3.4 実験結果

実験の結果得られた実機の動作と、その時の仮想アームの位置を Fig.6(a)(b)(c)(d)に示す。

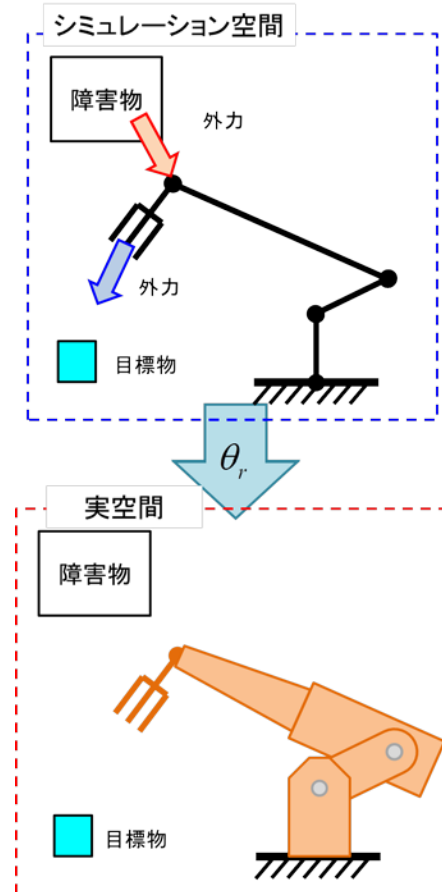
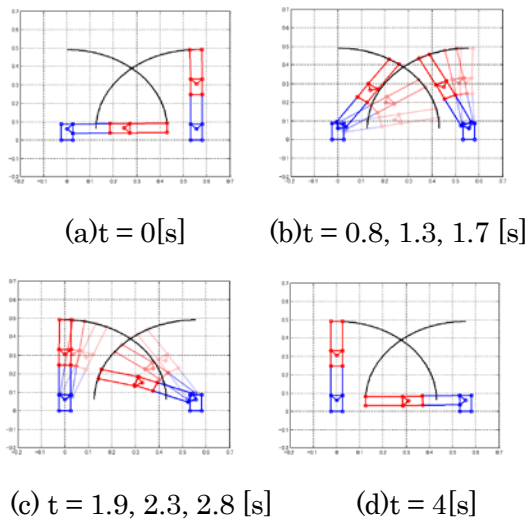


Fig.7 動作生成手法の概念図

実験では、わざとアーム同士が接触する動作を目標値として与えたが、モジュール化されたモデルと仮想ポテンシャル場を用いた制御器によって、接触回避制御を行う事に成功した。

4 提案する概念を利用した動作生成

本研究では、ソフトウェアモジュールから得られる動力学モデルを利用した新しい動作生成手法を提案する。多体システムの動作生成では、古くからコンフィギュレーション空間を利用した手法が使われてきた⁵⁾。また、近年では、擬似逆ヤコビ行列の零空間によって冗長性を表現し⁶⁾、冗長性の中から特定の評価指標によって動作を選択する手法も提案されている^{7,8)}。しかし、これらの手法は、動作生成時に繰り返し計算や逆行列計算などの計算負荷の高い行程が存在する。また、経路探索や評価指標の決定には、高い専門性が必要とされてきた。本研究では、計算コストや必要な専門性を下げるために、順動力学モデルと仮想的な外力を用いた動作生成手法を提案する。

4. 1 動作生成アルゴリズム

提案する手法の概念図を Fig.7 に示す。Fig.7 中の青で囲まれた領域はシミュレーション空間を示している。ロボットアームの手先を目標物の位置まで動かす動作の生成を例にとると、初めにロボットアームの手先は目標物方向への外力を受ける。障害物が近づいてきた場合は、障害物から反発力を受ける。また、関節角度が限界に近づいた場合は、

反力トルクを受ける。そういった仮想外力を受ける条件下で、動力学シミュレーションを行う。シミュレーションの結果得られた動作を、実機の動作目標値とする事で、実機は障害物回避や、関節角度などを考慮した動作が実現できる。提案手法のメリットとして、一回の動力学シミュレーションによって動作を得るお事が出来るため、反復計算が不要となる。また、動力学モデルを利用する事で、動力学を考慮した動作生成が容易となる。また、従来の手法では考慮する事が難しかった、不連続な動作条件や、複数の動作条件を同時に考慮する事が可能となる。

4. 2 動作生成シミュレーション

提案する手法を用いて、動作生成シミュレーションを行った。本シミュレーションでは、3 リンクのマルチリンクロボットアームを対象とし、提案手法のメリットを検証するために、複数の動作条件を目標として設定した。Fig.8 に動作生成目標を示す。

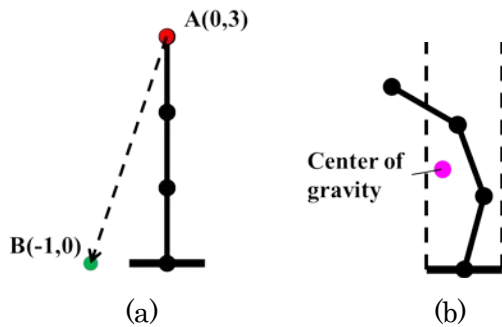


Fig.8 アームの動作目標

対象となるアームは固定されていない台座に取り付けられており、転倒の可能性がある物とする。Fig.8(a)はアームの動作目標を示しており、アーム先端の位置を初期姿勢A点から目標地点B点まで動かすことを目標とする。Fig.8(b)は動作条件を示しており、転倒を回避するために、重心の位置を台座の幅に拘束した。アームは先端に目標地点方向への外力を受け、重心が境界に近づくとき反力を受ける条件で動力学シミュレーションを行った。

4. 3 シミュレーション結果.

シミュレーションの結果得られた動作をFig.9に示す。

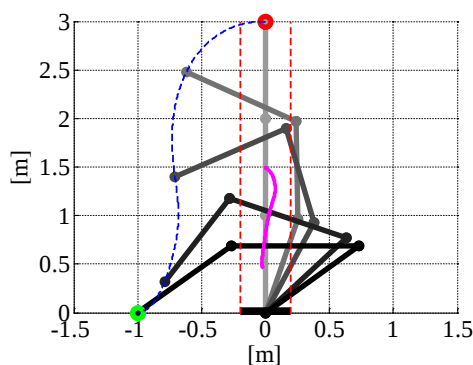


Fig.9 シミュレーション結果

Fig.9 中のグレーから黒で示された実線はアームの動作、紫の実線は重心位置の軌跡、赤の破線は重心を拘束した領域を示している。提案する手法を用いて、動作条件である重心位置を制御しながら、手先を目標位置まで動かすことに成功した。

5 分散計算検証のためのシステム構築

3章4章で示した実験やシミュレーションはいずれも提案するソフトウェアモジュールを利用していたが、連結されたソフトウェアは単

一のプロセッサ上で集中計算を行っていた。しかし、提案するモジュール化の概念では、最終的に各ハードウェアに独立したプロセッサを付与し、それぞれを連携させることが理想となる。今後は、複数のプロセッサを実際に接続し、分散計算系を構築し、それぞれにソフトウェアモジュールを入れたシステムを構築する。

6 結言

機械システムの運用を簡易化するために、ハードウェアとソフトウェアを同時にモジュール化する新しいモジュール化の概念を提案し、それを利用した動作制御と動作生成においてシミュレーション上で有効性の検証を行った。

また、今後の展開として、分散計算を行うためのシステムの構築について述べた。

今後は実際に分散計算用のシステムを構築し実験で検証を行っていく。

「参考文献」

- 1) 産業技術総合開発機構 (NEDO) HP 2016/11/25参照
<http://www.nedo.go.jp/>
- 2) 井上明人, 単にモジュール化することが重要なのではない, 国際大学グローバルコミュニケーションセンター機関誌[智場] Vol.113 (2009) pp.143~150
- 3) Khatib, O., Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots, The International Journal of Robotics Research 5-1 (1986), pp.90-98.
- 4) 佐藤圭祐, 極小点のないポテンシャル場を用いたロボットの動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.5 (1993) pp.702~709
- 5) Russell, S., Norvig, P. and Furukawa, K., Artificial Intelligence A Modern Approach (2008), pp.927-933.
- 6) Whitney, D.E., Resolved motion rate control of manipulators and human prostheses, IEEE Trans. on Man-Machine Systems, Vol.MMS-10 (1969), pp.47-53.
- 7) Yoshikawa, T., Manipulability of robotic mechanisms, Intl. J. of Robotics Research, Vol.4 No.2 (1985), pp.3-9.
- 8) Khatib, O., A unified approach for motion and force control of robot manipulators: The operational space formulation, IEEE, J. of Rob. and Auto., Vol.RA-3, No.1 (1987), pp.43-53.