

(様式 11)

平成 29 年 2 月 17 日

学 位 論 文 審 査 要 旨 (課程博士)

東京農工大学大学院工学府長 殿

審査委員 主査 田川 泰敬
副査 遠山 茂樹
副査 水内 郁夫
副査 ベンチャー ジェンチャン
副査 ポンサートン ラクシンチャーンサカ
副査



学位申請者	機械システム工学専攻 平成 26 年度入学 学籍番号 14833013
	氏 名 和地天平
申請学位	博 士 (工学)
論文題目	ハードウェアとソフトウェアの同時モジュール化による多体システムの制御設計 Concurrent modularization approach of hardware and software for control design of multibody systems
論文審査要旨 (2000 字程度)	<p>本論文では、多体システムの制御設計を効率化するための手法として、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し、検証することを目的とする。</p> <p>提案するモジュール化の手法では、ハードウェアモジュールを作成する際に、モジュール化されたハードウェアに対して、専用の制御器やダイナミクスモデルなどを同時に作成し、ハードウェア、ソフトウェアを合わせて一つのモジュールとして扱う。ハードウェアをアセンブリした際に、同様にソフトウェアもアセンブリすることによって、制御設計で利用するためのモデルや、制御器そのものを得る。</p> <p>提案した手法に基づいて以下の三つの制御手法を構築し、実験とシミュレーションによって検証を行った。</p> <ul style="list-style-type: none">①人工ポテンシャル法を利用したアーム間の接触回避制御②拘束された順ダイナミクスモデルの制御応答を利用した動作生成法③ノッチフィルタを用いた柔軟関節の振動抑制制御 <p>1 章 「序論」では、ロボット市場の変化と、今後予想されるロボットに対する要求の変化について述べている。要求の変化に対する対応として、モジュール化を挙げ、多体システムにモジュール化を適用した際の問題点から、本論文の目的を示した。</p> <p>2 章 「ハードウェア・ソフトウェアの同時モジュール化」では、提案するモジュール化の手法について紹介し、メリットとデメリットについて述べている。また、どういった利用方法があるかについての検討を行った。</p> <p>3 章 「検証用実験装置の作成および評価」では、初めに提案するモジュール化の手法を検証するための実験装置のコンセプトについて示し、実際に作成した実験装置および装置の構成について紹介を行った。また、作成した装置の評価を行うために、簡単な検証シミュレーションを実施した。</p>

4 章 「提案コンセプトを用いた制御器デザイン」では、人工ポテンシャル法を利用した接触回避制御に着目し、3 章で作成した検証用モジュールを用いて制御器を構成し、実験によって検証を行った。

制御実験では、検証の為に制作したモジュール型の実験装置に対してそれぞれポテンシャル関数を与えた状態でロボットアームを構成し、仮想的な外力を用いてモジュール同士の接触を回避する制御を行った。また、ポテンシャル外力を用いた接触回避制御では、目標値との偏差の拡大による過剰トルクの入力やオーバーシュート、また、アームのダイナミクスの影響等を考慮する必要があるため、本論文では、目標値の進行を遅延させることで偏差の拡大を防ぐ入力や、相対速度に応じて変動するポテンシャル場をそれぞれ提案した。実験の結果、従来の固定されたポテンシャル関数を用いた回避制御と比較して、提案するポテンシャル法関数および目標値の生成手法が、接触回避制御で有効に機能することが確認できた。また、提案するコンセプトを用いて構成した制御器が、接触回避制御において有効に機能することを確認した。

5 章 「提案コンセプトを用いた動作生成器のデザイン」では、順ダイナミクスモデルの応答を利用した動作生成器を考案し、実際に提案するモジュール化の手法を用いて、動作生成器を構成し、シミュレーション上で検証を行った。

従来のコンフィギュレーション空間や、ヤコビ行列の擬似逆行列と評価関数を用いた動作生成手法では反復計算や、逆行列計算など高い演算能力や専門性を要求するという課題があった。本論文では、それらを排除する手法として、プラントモデルのフィードバック制御シミュレーションの応答を直接利用する手法を提案した。プラントモデルを仮想的な外力を与えることによって動作を拘束条件内に拘束する。その状態で簡単なフィードバック制御シミュレーションを行うことで、シミュレーション結果は拘束条件を満たした動作となる。

使用するダイナミクスモデルは 3 章で作成した、モジュール化されたダイナミクスモデルの連結によって得た。多体システムにおける三つの基本構造に対して、提案手法で動作生成を行い、提案する動作生成手法の有効性を確認した。また、提案するモジュール化コンセプトが、動作生成器の構築でも有効に機能することを確認した。

6 章 「実用時の課題と対策」では、実際に提案するモジュール化の手法を利用する場合の問題点として関節の持つ柔軟性を挙げ、解決策としてノッチ特性を利用した振動抑制法を提案し、実験によって効果を検証した。

柔軟性を持つシステムは必ず固有振動数を持ち、それ以外の入力に対してはそれほど振動しないという性質がある。そこで本論文では、ノッチフィルタを用いて固有振動数成分を入力から除去することで、振動を抑制する手法を提案した。フィードバック制御を行う場合、単純にプラントの直前にノッチフィルタを設置すると、ループ全体では応答特性が変化してしまい、フィードバック制御器が本来の機能を発揮できなくなってしまふ。そこで本論文では、田川らが提案する DMM 制御器設計手法を用い、閉ループ特性がノッチ特性を有する制御器を設計することで、フィードバック制御器の性能低下を避けた。

実験では、ボールねじとモータが板バネによって接続された、直列弾性系となるシステムの位置決め制御によって制御器の性能を検証した。実験の結果、提案する制御器が、振動抑制において有効に機能することが確認できた。

7 章 「結論」では、各章で得られた知見をまとめた。4 章から 6 章までの検証の結果から、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手法の提案、およびそのシミュレーションおよび実験結果を通して、制御設計の大幅な効率化の可能性を示した。また、今後の展望として 3 次元空間への本手法の拡張、および、本手法の新たな問題への展開が期待される。

以上を要するに本論文は、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し、実際に制御器や動作生成器を構成し検証することによって、多体システムの制御設計における大幅な効率化の可能性を示しており、工学および工業上の該当分野の発展に果たす役割が極めて高い。したがって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有すると認められる。