

論文の内容の要旨

1 申請者

防衛大学校 大野 建幸

2 論文題目

Modeling and Control of a Stewart Platform Mounted on a Moving Body

(移動体上に設置されたスチュワートプラットフォームのモデル化と制御)

3 論文の内容の要旨 (博士:2,000 字程度)

本論文では、移動する車両や船舶などに設置された6自由度のスチュワートプラットフォームのベースプレートの運動を考慮した運動学及び動力学モデリングと制御について、解析的、数值的、実験的に検証した。スチュワートプラットフォームは、6本の直動アクチュエータがユニバーサルジョイントやボールジョイントを介してトッププレートとベースプレートと呼ばれる2つのプレートを接続する閉ループ構造である。車両や船舶、ロボットなどの移動体によって精密機器や患者などを輸送するとき、移動体の揺れや振動、加速度変化に対してそれらを安定化するための正確な位置決めを達成するようなメカニズムが必要となる。例えば、船内における医療行為は船の揺れで妨げられることがあり、救急車の搬送で車両に生じる加速度変化は寝台の患者にとって好ましいものではない。また、農業用の移動体上マニピュレータも運動の影響で作業の効率低下につながる。そこで、車両や船舶などの移動体の運動によって引き起こされる動揺を吸収するため、6自由度で高精度の位置決め機能を持ち、高速・高剛性といった特徴をもつスチュワートプラットフォームを用いて能動的に安定化を図る。移動体の運動によってベースプレートが動いても、アクチュエータの長さを変化させることで、トッププレートの位置と向きを所望の状態に制御できる。

これまで、ベースプレートを固定したスチュワートプラットフォームに関する多くの研究がされており、フライトシミュレータ、ドライブシミュレータ、産業用ロボット、医療用器具等、様々な分野で応用されてきたが、一方で、ベースプレートの運動を考慮したスチュワートプラットフォームに関する研究例は少ない。幾何学的関係から導出された逆運動学を利用したPD制御や、自己回帰モデルを用いてシステムの状態を推定するフィードフォワード制御があるが、速度計算やベースの運動を考慮した運動方程式が導出されておらず、モデルベースの線形・非線形制御に関する研究は行われていない。そこで、本論文では、以下に示すように、運動学・動力学解析、運動方程式の導出、非線形制御の適用、及びベースプレートの運動の予測値を用いた制御について提案し、その有効性を検証した。

まず、第1章では、本論文の背景、動機、目的、構成について述べた。

第2章では、ムービングフレーム法を用いて、ベースプレートの運動を考慮したスチュワートプラットフォームの運動学計算を行った。まず、グラフ理論によるスチュワートプラッ

トフォームの描写により、6本の直動アクチュエータに関する閉ループ拘束を得る。運動学計算では、ムービングフレーム法を用いることで複雑な3次元マルチボディシステムに対して、正確かつ容易に各質点の接続関係の記述及び速度計算を行い、定義した閉ループ拘束から、位置及び速度に関する逆運動学の式を導出する。また、設定した各ジョイントの可動範囲から、ベースプレートに対するトッププレートのワークスペースを導出する。最後に、逆運動学制御の例として、作製したスチュワートプラットフォームのスケールモデルを用いて、実機によるPID制御の実験結果を示した。

第3章では、ベースプレートの運動を考慮したスチュワートプラットフォームの運動方程式を解析的に導出し、逆動力制御によるシミュレーション及び実証実験の結果について示した。動力計算では、変分法を用いて仮想仕事の原理を採用し、システムの仮想変位は剛体システムの接続を反映して表される。次に、導出した非線形運動方程式を使用したモデルベース制御器の制御性能を数値的及び実験的に評価するため、ベースプレートの運動に対してトッププレートを安定させる実験を行った。運動方程式を用いた逆動力制御の制御性能を第2章で述べた逆運動学制御と比較するため、シミュレーション及びスケールモデルによる実験を行い、逆動力制御による追従性の方が優れていることを確認した。

第4章では、移動体の運動予測器の設計及び予測器を用いたモデル予測制御の適用について述べた。ベースプレートの運動を考慮したスチュワートプラットフォームを制御する場合、測定・計算・追従時間による遅れが生じるため、追従性を向上させるにはベースプレートの運動を予測する予測器が必要となる。そこで、ディープラーニングを用いた時系列予測手法であるLong Short Term Memory (LSTM)を適用して、移動体によって生起する未来の運動を予測した。学習させたLSTMを用いて、過去の測定データに基づいた数秒先の未来のデータの予測値をシミュレーション及び実時間で取得して予測精度を評価した。次に、モデル予測制御を適用し、LSTMによる動揺予測と組み合わせてシミュレーション及びスケールモデルによる実証実験を行った。トッププレートの追従性について、ベースの運動予測をしない逆動力制御の場合と比較して追従性と動揺吸収率が向上し、提案手法の有効性について確認した。

最後に、第5章で本論文の結論を述べた。

4 キーワード (5個程度)

「スチュワートプラットフォーム」, 「ムービングフレーム法」, 「非線形制御」, 「マルチボディダイナミクス」, 「ディープラーニング」