

審査の結果の要旨

氏名 小島 広久

博士（工学）小島広久 提出の論文は“Sliding-Mode Control Design for Spacecraft Maneuver”（宇宙機マヌーバのためのスライディングモード制御設計）と題し、6章と付録からなっている。

人工衛星、宇宙ロボットといった宇宙機は軌道上での修理が困難であるため、簡素で信頼性の高い制御手法が求められる。本論文では、宇宙機のマヌーバ制御問題に、スライディングモード制御を適用した際に起きうる問題点を解決すべく、いくつかの非線形要素を導入した新しいスライディングモード制御設計法を提案し、デブリ除去過程、すなわちフォーメーションフライト、姿勢同期、ロボットハンド制御による捕獲ならびにアクチュエータ故障衛星の延命問題に適用し、その有効性を検証しようとしている。

第1章は序論で、まず、宇宙機に適用されたスライディングモード制御の過去の研究事例を総括し、次にデブリ除去プロセスに要求される運動が、位置・姿勢がカップリングした非線形制御問題であることについて述べ、従来の単純なスライディングモード制御を本問題に適用したときに発生する問題点を指摘している。そして、その解決にむけてどのような機能をスライディングモード制御に付加すればよいかについて述べ、本論文の構成を整理している。

第2章では、対象衛星との通信や捕獲対象衛星の故障個所の特定を可能にするためのフライアラウンド運動制御手法について提案している。提案手法は、厳密線形化手法を援用することにより、対象衛星のチェイサーカメラ視野上での位置を縦横個別に制御できる手法になっており、さらに、捕獲衛星の視野から対象衛星がロストすることを防ぐためのポテンシャル関数を含む形で設計されたスライディングモード制御となっており、安定性の証明が与えられると同時に有効性が数値シミュレーションで示されている。

第3章では、対象衛星の特定面を観測・追尾したチェイサー衛星が、対象衛星に接近し、捕獲しやすいように姿勢運動を同期するための姿勢制御手法について述べている。宇宙機の姿勢マヌーバに通常のスライディングモード制御手法を適用した際、制御の初期段階で大きな制御量が要求されることになり望ましくない。そこで、対象衛星の回転運動に滑らかに追従する「平滑規範モデル」と呼ぶ仮定の規範運動モデルを導入して2自由度制御問題化することで初期制御量を低減することに成功している。さらに、対象衛星の慣性能率比を推定する適応則を導入し、少ない制御量で姿勢誤差を効果的に減少できること、及び、捕獲対象衛星の慣性能率比が正しく推定できることを数値シミュレーションにより確認している。

第4章では、姿勢同期が終了した後に行なうロボットハンドによる捕獲フェーズにおけ

る制御手法について検討を行なっている。宇宙ロボットハンドは地上ロボットハンドと異なり、ハンドの運動の反作用によりハンド先端の位置・姿勢が影響を受ける。著者は、宇宙ロボットに対して特異点を回避する制御手法を提案しようとしている。その方法は、宇宙ロボットが本体も制御できるフリーフライングロボットであることに着目し、ロボットハンド特異点を効率よく回避するためのロボット本体移動タイミングと移動方向を決定すると同時に、ハンド先端の制御加速度方向を仮想的に修正するものである。また、定常偏差を少なくするためスライディングモード制御における切り替え面の傾きを可変とするゲインスケジューリングも実施した。数値シミュレーションにより、本提案手法ではハンド特異点が回避でき、捕獲目標点へハンド先端を効果的に誘導可能であることを確認している。

第5章では、アクチュエータが故障した衛星の回転運動安定化問題を取り扱っている。この問題は劣駆動制御問題に分類され、時変制御や切り替え制御などの手法が要求される制御問題である。制御量の大きさが可変であることを前提にした研究が多いが、ここでは、スラストモジュレータの故障により一定の大きさのトルクしか発生できない状況を考慮している。著者は、制御量一定の制約を設け、回転運動が安定化できる角速度の組み合わせの曲面（マニフォールド）を解析的に求め、任意の角速度状態から停止状態へ遷移するための制御トルク符号と切り替えタイミングを、角速度の軌道とマニフォールドとの交点として求める手法を示した。数値シミュレーションにより、姿勢制御系故障衛星の寿命延命および寿命見積りに効果的な制御手法であることを示している。なお、求められたマニフォールドはスライディングモード制御の規範状態として参照できるものである。

第6章では、本研究の成果をまとめると同時に、さらなる研究課題について述べている。

以上、要するに、本研究は、視野制約、制御量の平滑化と大きさの制約、フォールトトレランスといった、宇宙機のマヌーバ制御を考える上で重要な制約を考慮したスライディングモード制御設計法について提案し、デブリ除去のための捕獲衛星の制御にたいして本手法を適用し、数値シミュレーションによってその有効性を示した。本手法は、広く将来の宇宙機制御に適用できるものであり、これらの成果は、宇宙工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格であると認められる。