

審査の結果の要旨

氏名 五十里 哲

修士（工学）五十里哲提出の論文は、「幾何学情報の事前計算テンソル化に基づく精密太陽輻射圧外乱モデル構築に関する研究」と題し、8章と補遺からなっている。

近年、測位衛星の cm 級軌道決定、超低高度衛星、超高精度フォーメーションフライトなどの高精度な軌道・姿勢推定が要求されるプロジェクトが提案されているが、それらを実現するためには外乱モデルの精緻化が必須である。特に、太陽輻射圧や熱輻射圧といった非重力外乱は、宇宙機の形状・熱光学特性・姿勢に依存したものとなっており、その複雑性から高精度かつ高い一般性を目指した研究例はほとんどなく、また、軌道上でそれらを高精度に推定するためのモデルもほとんど研究されていない。そこで、本論文では、高精度かつ物理パラメータ推定が可能であり、かつ計算時間などの観点からも実用的な非重力外乱モデルの構築を目指している。特に、最大の非重力外乱である太陽輻射圧に注目し、精度・計算時間・物理パラメータ推定等の要求を両立するモデル化と計算手法を提案し、シミュレーションと軌道上実データを用いた外乱解析により、その有効性を実証している。

精度・計算時間・物理パラメータ推定能力は、お互いに相反する関係となっており、これら全てを満たすモデルを構築することは難しい。そこで、太陽輻射圧計算に必要な三つの要素である太陽情報・宇宙機形状情報・物質光学特性情報を分解し、計算式を再構築する手法を新たに開発した。この要素分解と再構築により、各情報が持つ特性に適した近似・圧縮を行うことが可能となり、重要な物理パラメータを陽に含みながら、高精度・高速計算が可能な式を導出することに成功している。さらに、従来手法と精度・計算時間をシミュレーションで比較するとともに、実際の衛星のデータを用いたモデルの検証を行い、提案手法の有効性を実証している。

第1章では、高精度非重力外乱モデルを必要とする宇宙ミッションと太陽輻射圧に関する先行研究をまとめている。従来の研究では、精度・計算時間・物理パラメータ推定の三つの要求をすべて満たすものが無いこと、およびその理由を述べ、問題提起している。

第2章では、太陽輻射圧の定式化手法を示し、一つの平板に加わる太陽輻射圧の力を求め、提案手法を導出する上で必要となる基礎方程式を述べている。

第3章は、本論文の核となる提案手法の導出方法について説明している。前述の要素分解・再構築を行うため、まず、Computer Graphics 分野の陰影表現方法、反射関数の表現方法を太陽輻射圧計算に応用し、次に、複雑な光伝搬の事前計算とその近似手法を導入し、それを近似係数と基底関数の内積表現を用いて表すことで、テンソル演算が可能な式へと変換している。最後に、テンソル演算による要素の分解と再構築を行うことで、本論文で提案する、高精度・短時間計算・物理パラメータ推定能力の三つの要求を満たす太陽輻射圧計算手法を導いている。

第4章では、第3章で求めた一般性の高い式に、いくつかの仮定を与え、より実用的な

簡単化した計算手法を導出し、提案手法の派生モデルを示している。

第 5 章では、実用化のための要素技術として、陰影を表現するための近似関数の導出、精密宇宙機モデルから事前計算テンソルを求めるための高速並列演算アルゴリズムの導出を行っている。前者としては、単位球面上に定義される代表的な基底関数を導入し、近似精度、必要データ量、計算速度の観点で本計算手法に適した基底関数を議論している。後者では、精密宇宙機モデルに対する事前演算の計算コストとその高速化について議論している。精密な宇宙機形状モデルを用いた場合、従来の事前計算アルゴリズムが数週間を要するのに対し、グラフィックボードを用いた高速並列演算アルゴリズムを開発し、実用的な大型衛星の精密モデルであっても、数時間で事前計算テンソルを計算することが可能となった。このように、理論の導出だけでなく、実用化のための具体的な問題解決を行っていることも、本論文の成果の一つと言える。

第 6 章では、提案手法の有効性検証として、従来研究とシミュレーションによる精度・計算時間の比較を行い、本研究が精度・計算時間の観点で優れている点を示している。

第 7 章では、軌道上実データを用いた本手法の検証として、深宇宙探査機 PROCYON に加わる太陽輻射圧トルクの予測を行い、提案モデルの有効性を示している。

第 8 章は本論文の結論であり、提案手法の発展性と今後の課題をまとめている。

以上要するに、本論文は、高精度かつ高速計算が可能で、軌道上でのパラメータ推定にも適した実用的な太陽輻射圧解析モデルを提案し、その実用性をシミュレーションと実衛星上で実証したものであり、宇宙工学、衛星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と認められる。