

## 審査の結果の要旨

氏名 細 沼 貴 之

修士（工学）細沼貴之提出の論文は「多衛星における地球観測プランニングと軌道配置の学習を利用した最適化に関する研究」と題し、7章と付録からなっている。

近年、多衛星のコンステレーションによる地球観測が、時間分解能の向上や災害時の即応性の観点で注目され、低コスト・軽量の小型・超小型衛星の登場で実プロジェクトとしてビジネスやセキュリティニーズ等に利用され始めている。コンステレーションの運用においては、観測すべき地点を如何に効率的に観測できるかという観点での軌道設計や運用計画の立案が技術的な課題となっている。従来は、観測要求を回帰日数や被覆率などの大域的な観点から捉えてまず軌道を設計し、その軌道を前提としてあるルールにのっとった観測プラン立案を行うアプローチが一般にとられてきたが、悪天候等の原因による画像取得成功率の場所による違いや画像の価値が時間に依存するといった詳細な要求条件まで加味した計画手法は提案されていなかった。また軌道最適化に関しては、ある軌道を前提として観測プラン立案を実施してその軌道の良さを評価し、それを繰り返して最適軌道を導くという方法が一般的であり、莫大な回数のプランニングが現実的な時間内での問題解決を阻んできた。

そこで、本論文では、このような実際に起こり得る要求に対応するために、強化学習の導入によりこれら要求に柔軟に対応できる観測プランの生成法と、その結果をもとに現在の軌道を逐次修正して、最適なコンステレーション軌道を効率的に設計できる手法を提案している。

前者においては、一定期間内に取得する画像の枚数やその価値の合計を最大化すべく、衛星が撮像候補地点を通過する際に撮像するしないをある特徴量のセットに基づいて決定する判断基準を強化学習の枠組みで獲得している。評価基準を状況に応じて柔軟に変更するという工夫を導入することで、理論的に予想される取得画像の上限に対し9割程度の画像取得ができる観測プランが実現されており、現実的な解が得られたことを示している。後者においては、観測プランの結果を予測するための解析モデルと、モデル化誤差を予測するための知識を獲得する手法を組み合わせ、観測プラン立案を行わずに観測結果が良くなる軌道配置を予測する手法を提案している。以上の新しい観測プラン立案手法と軌道設計手法を組み合わせることにより、少ないプラン生成回数で従来よりも評価基準となる数値が高くなる軌道配置を得られることと、得られる最適軌道配置は従来の設計手法の枠組みでは得られない特性を有していることをシミュレーションにより明らかにしている。

第1章では、近年の衛星コンステレーションに関する動向について述べた後、コンステレーション設計問題を軌道設計問題と観測プラン立案問題の2つに分解し、それぞれの問題において考慮すべき事項についてまとめ、それらをふまえて、本論文の目的と構成について述べている。

第2章では、第1章で定義した軌道設計問題、観測プラン立案問題のそれぞれについて、従来研究でどの様に扱われてきたかをまとめ、先行研究の問題点を整理している。

第3章では、第2章で述べた先行研究の問題点をふまえて、本論文で扱う問題の設定と定式化について述べている。

第4章では、軌道設計問題と観測プラン立案問題、およびそれらを統合したコンステレーション設計問題について、本論文で提案する解法の大枠について述べている。観測プランを立てた結果を利用した軌道設計の逐次的修正を行うという方法論を提案し、提案手法の概要についてまと

めることで、続く 5 章・6 章への導入を行っている。

第 5 章では、観測プラン立案問題の解法について述べている。この問題に対して強化学習を適用することを提案し、強化学習を適用するための定式化について述べている。また、提案した手法についてシミュレーションによる検証を行い、提案手法の妥当性と有用性について評価を行っている。

第 6 章では、軌道設計問題の解法について述べている。観測プランを立てた結果を利用することによって、効率の良い観測プランが行える軌道配置について予測が行えるようになることに加え、予測を利用した軌道配置の探索手法として **Bayesian Optimization** が利用可能であることを述べている。また、提案する手法の妥当性と有用性について評価を行い、特に有用性の評価については、従来のような軌道設計手法との比較を行って提案手法の優位性を主張している。

第 7 章は、本論文の結論と今後の課題についてまとめている。

以上要するに、本論文は、地球観測衛星コンステレーションの観測プラン立案に強化学習の枠組みを効果的に利用するとともに、観測プランの結果を予測しつつ、より効率的な観測プランが得られると予想される軌道への変更を逐次行うことで最適なコンステレーション軌道を目指すという新しい軌道設計法を提案し、シミュレーションで実証しており、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と認められる。