

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 津田 雄一

修士(工学)津田雄一提出の論文は、「情報管理と誘導則の関係を考慮した大規模衛星群フォーメーションフライトアーキテクチャに関する研究」と題し、7章と附録からなっている。

フォーメーションフライトは広域同時観測や分散性・冗長性の観点から有望視されている技術であるが、NASA、ESA を中心に具体的なミッションが出始めたばかりであり、技術としては発展途上にある。フォーメーションフライトの将来像として、100機以上の衛星を使用するものも検討されており、その有用性も広く認識されているが、具体的な実現方法に関しては未だまとまった設計論がないのが実状である。特に、フォーメーション(隊形)の管理には、必ずメンバー衛星間のクロスリンク通信が必要となるので、衛星数が多いほど、従来行われてきたフォーメーションフライトの研究のように誘導則と情報管理を独立に検討するわけには行かなくなる。

本論文は、軌道上で100機程度の大規模フォーメーションフライトミッションを行う際の技術課題を、誘導および情報管理の観点で整理して、大規模フォーメーションフライトを効果的に実現するアーキテクチャを構築することを目的としている。まず、システムを構成する衛星をマルチエージェントとみなし、エージェント間の仮想的な情報共有の場を定義する。エージェントはその場を介して情報を交換しながら隊形の維持や種々のミッションを協調的に実行するが、そこで使われる誘導則を、従来のような ΔV 最小という立場だけではなく、交換すべき情報量の観点も含めて最適化する手法を提案している。また、衛星間の位置関係や交換すべき情報内容を考慮に入れた通信経路制御法を提案している。本論文は、このように誘導と情報管理の相互の関係を考慮に入れて最適なアーキテクチャを検討している点が特徴的である。さらには、周波数割り当てや中継衛星配置など上位レベルでの最適化を導入することで、システム全体のスループットの向上やロバスト化を図ることも可能であるなど、実用面でも優れたアーキテクチャであることが示されている。

第1章は序論であり、フォーメーションフライトに関する研究開発の現状を概観するとともに、大規模フォーメーションフライトに関する問題提起をし、研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では、フォーメーションフライトの一般的な特徴をまとめるとともに、自律分散概念・情報技術に関するこれまでの成果を取り込んだ、大規模フォーメーションフライトアーキテクチャの構築法について言及している。また特に、隊形管理と情報管理の観点で、従来の手法で解決されていない問題点を洗い出し、第3章以降の考察の指針を明らかにしている。さらに、大規模フォーメーションフライトの特徴を利用した宇宙インフラストラクチャーの例として、Virtual Orbital Platform の概念を提案している。

第3章では、隊形管理を行う際に各々のメンバー衛星が従うべき具体的な誘導則を導出

している。特に、線形化された軌道運動における、簡潔な最適トラジェクトリの求解法を導出し、さらに電気推進等の低推力推進の場合へと発展させている。また、ミッション休止時や緊急時において、各メンバー衛星が互いに散開しないような軌道を飛行するための「待機軌道」の概念を導入し、そのための誘導則も導出している。これらは交換すべき情報量の観点でも優れた誘導則であることが示されている。

第4章では、第3章で導いた誘導則をベースに、さらに隊形全体の情報を利用して全メンバー衛星の燃料消費の合計が最小になるような誘導則を導いている。特に、衛星の目標点が交換可能であるときに、総燃料消費が最小となるような配置を探索する組合せ最適化問題の解法を示している。

第5章は、大規模フォーメーションフライトのための情報アーキテクチャの具体的な実現法について考察している。まずメンバー衛星が形成するアドホック型の通信ネットワークの特徴を洗い出し、従来の地上ネットワークでの研究や既存技術との対比を行ったうえで、第3,4章で導出した誘導則と、本章で扱う情報管理のインタラクションを明確にし、隊形管理・情報管理の両方の観点でフィジブルな情報同期法および通信経路制御法を提示している。また、情報同期・通信経路制御の具体的なプロトコルとして Dynamics-Oriented Routing and Information Synchronization プロトコルを提案し、実際のフォーメーションフライトの通信環境を模擬した実験設備で、本プロトコルの有効性を確認している。

第6章では、本論文で提案したアーキテクチャをベースにして、フォーメーションフライトシステム全体のスループットの最適化や頑強化を実現する手法を提示している。具体例として、第一に、大規模なアドホックネットワークの問題点である通信輻輳や帯域低下を最小限に抑える手法を提示している。第二に、衛星間の距離が何らかの原因で離れてしまった場合に、通信を中継する衛星が最適位置に移動することで、ネットワークの分断を防ぐ方法を提示している。これらは、本研究で提案している情報アーキテクチャが実用面からも優れていることを示している。

第7章は結論であり、大規模フォーメーションフライトのアーキテクチャ、誘導則、情報管理およびその関係について得られた知見をまとめ、今後の課題と展望を述べている。

附録では第3章で参考にした primer vector 理論の概説と、第5章で使用した Dijkstra 法およびフォーメーションフライトの通信環境を模擬する実験システムの概要、および情報同期・経路制御プロトコルのインプリメンテーションについて説明している。

以上要するに、本論文は、大規模フォーメーションフライトにおいて生ずる情報管理と隊形管理の関係を明確化し、分散性や冗長性といったフォーメーションフライトの潜在的特長を具体化する隊形管理手法および情報管理手法を導出することにより、大規模フォーメーションフライトの設計指針を与え、新たな宇宙インフラストラクチャーの将来像をも示唆しているものであり、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。