

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 王 継河

工学修士 王継河提出の論文は「Cluster Flight Orbit Design and Control for Fractionated Spacecraft (機能分散型複数衛星システムのための群飛行軌道の設計と制御に関する研究)」と題し、英文で書かれ、8章からなっている。

近年、近傍を飛行する複数の衛星を協調させてミッションを実現しようというフォーメーションフライトの研究が数多く行われている。その一つの形態として、通常は一つの衛星にまとまって搭載する衛星の各種機能を、空間的にも分散した複数衛星に搭載し、電力および通信網でつなぐことにより一つの大きな衛星としての機能を果たさせようとする Fractionated Spacecraft の概念が提案され、リスク分散や機能の拡張性・補完性に優れている点から注目を集めている。このようなシステムにおいては、衛星群がある程度の距離を保ったまま地球周回軌道上を飛行すればよく、厳密に衛星の相対位置を設計・維持しようという通常のフォーメーションフライトとは異なった軌道設計が必要となり、クラスターフライトという新しい軌道力学の分野を生んでいる。本論文は、このクラスターフライトにおける軌道設計・誘導制御問題を扱ったものである。

クラスターフライトの軌道設計問題では、各衛星の軌道を設計する際に、その軌道を維持するのに必要な燃料量の総量を最小化し、かつ、すべての衛星ペアの間の距離が、ある下限値と上限値の間に維持されることが要求される。後者は、衛星間の衝突を防ぐとともに、相互の通信・電力伝送が可能な距離を維持するための要件である。本論文では、まず、遺伝的アルゴリズムを利用してクラスターフライトの軌道群を設計し、ついで、設計された軌道を J2 摂動のもとで燃料最小で維持する誘導制御戦略を、通常のフォーメーションフライトにおける手法を改良したやり方で導いている。さらに、衛星の一つが除去されたり新たな衛星が追加されたりする際に行うクラスターフライト軌道群の再構築時に、燃料最小で新しい軌道群に移行する手法、および、一つの衛星が故障して軌道制御不能になった際にも衝突しない安全な軌道に他の衛星が移行する戦略など、クラスターフライトで起こり得る実際的な問題にも答える手法を提案している。以上の各種手法を解析およびシミュレーションで実証した結果をもとに、本手法が、円軌道の近傍で飛行する群衛星の様々な軌道設計・誘導制御問題に適用できると結論付けている。

第1章では、近年のフォーメーションフライトを利用したミッションをサーベイし、そこで用いられている相対軌道設計・誘導制御手法を概観し、本論文に向けた動機を述べている。

第2章では、クラスターフライトの概念を説明し、フォーメーションフライトとの違いを明確化し、そこで必要な軌道設計・誘導制御技術をまとめている。

第3章では、クラスターフライトの軌道設計・制御に用いる相対軌道の記述法を示し、円軌道周りの相対軌道のダイナミクスを定式化している。特に、相対離心率および相対軌道

傾斜角という新しい設計パラメータによる設計を行うことが効率の良い設計につながると主張している。

第4章では、衛星間距離の下限・上限という制約条件のもと、軌道維持で消費する燃料の総量を最小化するクラスターフライト軌道群を、遺伝的アルゴリズムを用いて設計する手法を提案している。衛星の軌道制御能力がなくなっても衛星の衝突が起こらないロバストな軌道群を生成するため、軌道進行方向の距離を考慮しない新しい距離尺度の導入が重要であると述べている。

第5章では、第4章で生成した各衛星の軌道をJ2摂動下で最小燃料で維持する誘導制御戦略が提案されている。フォーメーションフライト分野でよく用いられているAlfriend法を改良し、さらに衛星の相対軌道は変えないが参照衛星軌道の選択の自由度を有効に利用することにより、Alfriend法と比較して燃料消費の面で優れた軌道維持ができることを示している。

第6章では、一つのクラスターフライト軌道群から別の軌道群への移行を最小燃料で実現する解析解を導出し、いくつかの軌道変更のシミュレーションでその有効性を示したのち、衝突回避の条件も考慮した解への拡張を行っている。

第7章では、クラスターフライト内の衛星の一つが軌道制御能力を失った際の、他の衛星の衝突回避のための誘導制御アルゴリズムを導出し、シミュレーションで確認している。特に衝突が近い将来予想される場合には解析的な解で時間を稼ぎ、その間に遺伝的アルゴリズムで新しいクラスターフライトの軌道群を再構成する手法の有効性を主張している。

第8章は、本論文の結論と今後の課題について述べている。

以上要するに、本論文は、多くの衛星が軌道上で近傍を飛行するクラスターフライトにおける軌道群の設計問題、および軌道維持・衝突回避等の誘導制御問題を定式化し、遺伝的アルゴリズムおよび解析的手法による解法を提案しその有効性を実証したものであり、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。