

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 金 相均

修士（工学）金相均提出の論文は、「Study on Link-Bus Hybrid Information Network and Its Optimization for Small Satellites（小型衛星におけるリンクバス・ハイブリッド情報ネットワークとその最適化に関する研究）」と題し、英文で書かれ、7章からなっている。

従来、人工衛星内部の情報ネットワークは中央に高性能のオンボードコンピュータを配する中央集権的アーキテクチャが多かったが、最近の小型衛星などサブシステムのモジュール化を目指す衛星においては、サブシステムそれぞれにコンピュータを持ちそれを情報ネットワークでつなぐ分散構造の研究が活発に行われている。このようなアーキテクチャにおいては、小型衛星の限られた重量・サイズ・消費電力などのリソースの中で、如何にスループットが高く、かつ故障に強い情報ネットワークを組めるかが衛星全体の性能に根本的な影響を与える。衛星においては、これまでに RS-232C のようなノード対ノードの通信を基本にするリンク構造、CAN バスのようなブロードキャストが可能なバス構造などの個別の適用法は検討されているものの、リンクやバスの性能を多次元の尺度で総合的に評価するような理論的研究や、故障への対処も含めた情報の流し方に関する実際的な検討は不十分で、また、リンクとバスを複合して利用するようなアイデアは提案されていなかった。

以上の背景に基づき、本論文では、以下の2点を提案している。第一に、モジュール型小型衛星を想定して、リンクとバスを複合して使う新しいネットワークのトポロジーを提案する。リンク方式はノード間のホップ数が少ない場合の通信にメリットがあり、バス方式はノード間の距離にかかわらず同じ時間で通信できるメリットがある。提案するネットワークはこの違うタイプを同時に使うことによってシナジー効果を生み、高い信頼度と性能を両立させることが可能になる。第二に、ハイブリッドネットワークのノードの配置最適化の手法と情報伝送の経路選択（メッセージコントロール）のアルゴリズムを新しく提案している。提案する最適化手法は、ノード間の通信頻度情報をもとに、まずキーとなるノードの配置パターンを決め、その後残りのノードの配置を全数探索的に調べる手法をとっており、計算量を明示的に指定した中での効率的な探索ができる点が大きな特徴である。また、メッセージコントロール・アルゴリズムについては、強化学習の一つであるラーニングオートマタの理論を一部改良した手法を提案しており、速い学習と故障発生時の高い対応能力などの良好な性質を持っていることを示している。以上の提案手法は、理論的な解析とシミュレーションでその有効性を検証している。

第1章は序論であり、人工衛星で利用される情報ネットワークの現状を概観し、モジュール化を目指す小型衛星のためには高い信頼度とスループット性能を持つネットワークが必要であると述べ、研究の目的を明確にしている。

第2章では、ネットワークで使うリンクとバスの二つの通信方式を説明した後、すでに利用されているネットワーク・トポロジーの現状をサーベイし、本論文で提案するネットワークに要求される条件をまとめている。

第3章では、ハイブリッドネットワークを提案し、その構造と特徴を述べている。つぎに、故障に対してネットワークが機能を維持できる信頼度と、データの転送に必要な平均の待ち時間を評価軸として取り上げ、待ち行列理論等を使った理論的計算により、提案するネットワーク・トポロジーを他のトポロジーと比較している。その結果、提案したネットワークが同じコストを必要とする他のトポロジーに比べて、信頼度と待ち時間の性能をバランス良く両立させていると主張している。

第4章と第5章は、本論文で提案した情報ネットワークの最適化の手法を提案している。まず第4章では、最適なノードの配置パターンを探す「マグネットキューブアルゴリズム」という手法が提案され、そのアルゴリズムと特徴が示されている。様々なノード数を仮定したシミュレーションにより、このアルゴリズムが最適に近いノードの配置を、指定した時間内で探しだすことが可能であることが示されている。

第5章では、新しいメッセージコントロールの手法を提案している。スタティックなメッセージコントロールは安定な通信が可能であるが、故障時などネットワーク構造が変化した場合には対応できない。それに対し、提案する適応型メッセージコントロールでは、強化学習の一つであるラーニングオートマタを改良した学習手法を取り入れることにより、大きなネットワークの変化に対してもより早い学習収束と最適な学習結果を実現することが可能であると主張し、それをシミュレーションで検証している。

第6章では、実際に打ち上げ・運用している小型衛星のデータに基づいてモデリングした小型衛星の情報系に対して、最適化の手法とメッセージコントロールのアルゴリズムを適用するシミュレーションを実施し、現実的な問題設定の下でも本論文での提案手法が有効であることを示している。

第7章は、結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題と展望を述べている。

以上要するに、本論文は、リンクとバスを複合した新しい衛星内情報ネットワーク・トポロジーと、そのネットワークに適用すべきノード配置の最適化とメッセージコントロールの新しいアルゴリズムを提案することで、モジュール型の小型衛星にとって重要な要素である情報ネットワークの信頼度と性能の向上を果たしたものであり、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。