

(続紙 1)

京都大学	博士 (工 学)	氏名	根 和幸
論文題目	モデル予測制御に基づく複数移動体の編隊制御に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は複数移動体の編隊制御における衝突回避問題に関してモデル予測制御に基づく新たな制御手法を考案し、制御系の設計法を論じた結果をまとめたものであって5章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、複数移動体の編隊制御に関する先行研究やモデル予測制御に基づく衝突回避手法の問題点について論じている。特に、モデル予測制御に基づく衝突回避手法を実現する上で大きな障害となる計算量増加や離散化による影響を陽に考慮した制御系設計が必要であることを示した。</p> <p>第2章では、問題設定と制御方策について論じている。まず、移動ロボットの一般的な移動形態である2輪車両型の移動体を本論文での制御対象とすることを述べ、複数台の2輪車両型の移動体が編隊を形成・切り替える際の衝突回避問題の定式化を行った。次に、2輪車両型の移動体同士の衝突回避問題をモデル予測制御で取り扱うことを可能とする制御方策を提案した。提案した制御方策は、フィードバック線形化とモデル予測制御を組み合わせたものであり、目標の編隊形状への収束はフィードバック線形化則により実現し、移動体同士の衝突回避が必要な場合にはモデル予測制御に基づき回避軌道を計画するというものである。このとき、モデル予測制御に基づく衝突回避は混合整数計画問題として定式化されることを示し、衝突回避だけでなく環境中に存在する障害物も同様に考慮できることを示した。また、衝突回避が不要な場合にはフィードバック線形化則のみで目標の編隊形状が達成できることも示した。</p> <p>第3章では、複数移動体の衝突回避問題をモデル予測制御により定式化した際の計算量の増加の問題に着目し、計算量の低減化を考慮した衝突回避アルゴリズムを提案した。提案手法は新たな衝突回避手法の提案と混合整数計画問題の一般的な解法である分枝限定法を改良するという2点から構成される。まず、全ての移動体の入力を一度に決定する最適制御問題ではなく、各移動体が順番に独立した局所的な最適制御問題を解くという衝突回避手法を提案した。これにより各更新時刻で解く最適制御問題のサイズを小さく抑え、計算量低減化を図った。また、その最適制御問題の可解性と閉ループ系の安定性についても考察し、各移動体が初期ステップで最適解を持つことができれば目標の編隊形状が達成できることを理論的に示した。次に分枝限定法の改良においては、従来手法の問題点を明らかにするとともに衝突回避問題の特性を考慮するように改良を行った。具体的には、提案した分枝限定法では衝突回避制約を除いた問題(緩和問題)を解き、衝突が起きる場合にのみ分枝操作を行い、部分問題を生成する。同様に部分問題に対しても衝突回避制約を除いた問題を解き、衝突が起きる場合にのみ分枝操作を行い、さらに部分問題を生成する。これにより、衝突が起らない部分の0,1変数に対しては分枝が起きないため、不要な部分問題が生じなくなる。そのため、一般的な分枝限定法と比較し計算量の低減化が期待できる。このように提案手法は、簡単な分枝ルールと限定ルールを導入したのみのアルゴリズムの改良であるが、シミュレーションにより大きく計算量が低減化できることが確かめられた。さらに、提案した計算量低減化アルゴリズムを実装し、一般的な分枝限定法では困難であった3台の移動体の衝突回避を実機によりリアルタイムで実現した。</p>			

氏名	根 和幸
----	------

(論文審査の結果の要旨)

複数台の移動ロボットが同じ環境中で協調して作業を行う場合、秩序をもった集団での移動は必要な機能の1つである。編隊制御は、複数の移動体が一定の幾何学的形状を維持するように制御することで、集団での移動を実現するものである。このような特定の編隊形状を形成し集団での移動を実現する上で、移動体同士の衝突回避は陽に考慮しなければいけない課題である。本論文は、複数移動体の編隊制御における移動体同士の衝突回避問題に対してモデル予測制御に基づく制御手法を提案し、その有効性を実験により検証したものである。主な成果は、以下の通りである。

1) 移動ロボットの一般的な移動形態である2輪車両型の移動体を対象とし、厳密なフィードバック線形化によりモデルを導出し、編隊形状の形成・維持における衝突回避をモデル予測制御により実現する制御手法を提案した。また、衝突回避問題をモデル予測制御により定式化した際の計算量の増加の問題に対応するため、新たな衝突回避アルゴリズムの提案と最適制御問題の一般的な解法である分枝限定法の改良を行った。さらに、最適制御問題の可解性と閉ループ系の収束性を示し、3台の実機で提案手法の有効性を示した。

2) モデル予測制御による衝突回避手法では離散的な予測時刻でしか衝突回避が考慮されない。この離散化が移動体同士の衝突回避に与える影響を明らかにし、その影響を陽に考慮するため、まず、1台の移動体が静止障害物を回避しながら目標位置まで移動する静止障害物回避問題を考えた。この静止障害物回避問題に対し、予測時刻間での障害物回避を保証する2つの制御手法を提案した。次に、静止障害物回避問題で得られた知見をもとに、移動体同士の衝突回避問題に対して、予測時刻間の衝突回避を陽に考慮した制御手法を提案した。提案手法は、複数移動体が移動しながら動的に形状を変化させるような場合でも衝突回避を実現するものであり、その有効性を3台の実機を用いて検証した。

以上のように本論文は、当該分野において新規性のある提案とその有効性の検証を実機実験により行っており、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年1月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。