

学位論文題名

Studies on Path Planning Problem of Outdoor Vehicles

(屋外作業車両の経路計画問題に関する研究)

学位論文内容の要旨

本論文は屋外作業用無人車両の作業経路計画問題(Path Planning Problems)に関する研究成果をまとめたものである。近年、危険地域や極限環境での作業のみならず、我々の日常生活に関係の深い土木・建築現場、農業や除雪といった屋外作業を行う作業用無人車両のニーズは高まっている。しかし屋内環境での無人車両に比べて、屋外環境での実現例は少ないのが現状である。これは屋外環境の天候、気温、埃、雪、不整地といった特徴がある中で、実用的な作業精度を満たすことが困難であることによる。

そこで本論文では屋外作業を作業用無人車両で実現するために、実用的な作業精度を低コストで実現するため、マップベースの情報管理システムの利用を前提とした制御スキームを提案している。マップベースの情報管理システムとは、GIS(Geographic Information System)を前提としており、GISの特徴は対象とする作業領域に関して各位置での様々な状態を各種属性に基づいて定量的に扱うことができる点である。従来では車両の特性に基づいて制御系を独自に設計する必要があったが、GISのレイヤーに作業経路データなどの制御情報を加えることで他の土地の属性情報も加味した制御データを生成が可能となる。また提案する制御手法の汎用性と保守性を向上させることが可能性となる。ちなみに本論文で前提とする屋外作業とは、作業領域全面を覆うような不整地で作業である。これは農作業における耕耘作業、または駐車場などの敷地内の除雪作業が挙げられる。

よって本論文では、提案する制御スキームを実現するためのそれぞれの要素技術に関して問題点や満たすべき要件を明らかにしてシステムの構築を試みた。最初に屋外作業用車両の作業経路計画の問題に対応した経路プランナーを設計し計算機実験により評価を行った。また作業経路から外れた車両の経路への復帰問題を解決するための手法を提案し、計算機実験により有効性の検証を行った。そして得られたデータをGISデータとして組込むことについて、その方法と有効性を述べた。また提案手法を利用できる屋外作業車両を設計・製作し、具備すべき機能を明らかにし、実験により問題点をまとめた。更に最近屋外作業を複数の無人車両による協調作業で実現する研究が進められており、これに対して提案手法を適用するための問題点を明らかにし、それに応じた導入方法の検討及び有効性と適用限界を明らかにした。

本論文の概略は以下の通りである。

第1章では本研究の導入として、研究の背景を眺望し、研究領域、本研究の新規性、工学としての寄与について論じている。

第2章では屋外作業用無人車両の制御について、従来の制御手法及びその問題点を言及し、

実用レベルの屋外作業用無人車両を実現するための提案する制御スキームの全体像と具備すべき機能を明らかにしている。そこで提案手法に導入する GIS の概要及び特徴について述べ、導入方法を明らかにしている。また提案手法により屋外作業を行う無人車両の要件も明らかにしている。

第 3 章では、作業用車両の経路計画問題を解決するプランニングシステムの構築、及び評価を行っている。従来の経路計画問題の多くは始点から終点までをどの様に移動するかという問題であるが、本論文で対象とする屋外作業は耕耘作業や除雪作業のような作業領域全面を被覆する作業経路を求める問題としている。それぞれの作業の特徴に基づく制約条件を満たし、且つ作業コストの低い最適作業経路を生成することが求められる。作業車両はクローラタイプや 4 輪の非ホロノミック系車両が多いことから、これらの車両モデルに基づいた作業経路の自動生成法を提案している。また不整地移動で問題となる作業経路から無人車両が外れた場合の復帰制御のデータ生成方法にも触れている。これらはそれぞれシミュレーションにより、提案手法の有効性及び妥当性を検証している。また得られた各データを GIS データとしての設定について述べている。

第 4 章では提案している制御手法に応じて屋外作業を行う無人車両の設計・製作について述べている。除雪作業を対象として無人除雪機を設計・製作している。除雪作業の無人化における問題点を明らかにし、無人除雪機の要件及び具備すべき機能をまとめている。また提案する制御手法による作業制御を行う場合の特徴や問題点も明らかにしている。これらに基づいて搭載するセンサー系、車両制御系、及び情報処理系を設計し、実機への搭載の後、センサー系と車両制御系に関する性能評価試験を行い、設計・製作における問題点と妥当性について検証している。更に除雪作業の特徴から人間との共同作業が想定される。故に移動方向に人間が存在する場合の回避制御実験を行い、実作業に導入する際のフェールセーフ機能の実装を試みている。

第 5 章では、提案する制御手法を複数台の作業用無人車両の協調作業に適用することについて述べている。従来のような複数エージェントの協調作業に関する理論的研究で問題点となる学習や計算量の規模に関する問題、協調の動機付けの問題などに対して、本提案手法ではポテンシャル法による解決を試みており、本手法の評価試験として箱押し問題に適用し有効性と本手法の限界についてまとめている。また GIS データに反映する方法についても検討している。

第 6 章では論文全体を総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 大 森 隆 司
副 査 教 授 和 田 充 雄

学位論文題名

Studies on Path Planning Problem of Outdoor Vehicles

(屋外作業車両の経路計画問題に関する研究)

ロボットの实利用に関して、自律移動可能な屋外作業車両による作業の自動化/無人化の要望が高まっている。屋外作業は主に不整地で行われる作業が多いため、天候、気温、日光などの雰囲気により自律作業車両に搭載された各センサーが影響を受け、また不整地の移動から車両にスリップが発生し車両移動の不確実性が存在し、実用的な作業精度を満たすことが困難となっている。このような屋外不整地環境下で作業を行う自律作業車両の車両制御に関する方法論は殆ど提案されていない。

以上の認識の下、本論文は対象とする屋外作業領域内をどのような手順で作業するのかという経路計画問題と、実際に屋外でこれを実現するために必須となる車両制御を実現するためのセンサー制御系の設計問題へのアプローチを試みた研究結果をまとめたものである。屋外不整地での経路計画問題では、車両のスリップを考慮したプランニング方法による解決手法を提案し、有効性について明らかにしている。センサー制御系の設計問題においては、屋外不整地環境での作業における問題点と自律作業車両が満たすべき要件を明らかにし、これらに応じたセンサー制御系の設計、構築を行っている。これらから自律作業車両による屋外作業を実現するために、Geographic Information System(GIS)に基づいた制御スキームを提案し、構築の際の問題点と具備すべき要件について明らかにしている。

はじめに経路計画問題では、不整地における作業経路を生成するプランニング手法を提案している。ここではどのような領域形状においても作業経路を生成する手法が導出されている。更に作業経路からのスリップやズレから復帰する経路生成手法をポテンシャル法により構築している。このアプローチの検証のために、異なる領域形状でのスリップを考慮した経路計画を実現し、提案手法の適用範囲及び得られた作業経路の妥当性について明らかにされている。これらの作業経路を GIS データとして扱う方法と作業車両の制御データとしての利用法が導出されている。

センサー制御系の設計問題では、提案している制御スキームに応じた自律作業車両の

設計及び製作を行っている。目的作業を冬期間の除雪作業とし、晴天、曇天降雪時といった雰囲気において利用可能なセンサーを選定し、性能試験により各センサーの有効性及び問題点について明らかにされている。また障害物回避実験を通して、屋外環境では複数センサーによる状況認識が有効であるという知見を得ている。自律除雪機には、自機の位置を認識する Global Positioning System(GPS)及び外部との通信が可能な I/O を装備していることから、提案する制御スキームに基づいた高精度な車両制御が実現できるものと期待される。よって、作業環境の違いに対してロバストな車両の実現をしている。

次に複数台の作業車両による協調作業を実現する手法が導出されている。ここでは、従来のような複数エージェントの協調作業に関する研究で問題点となる学習や計算の規模に関する問題、協調の動機付けの問題などに対して、ポテンシャル法による解決を図っている。また箱押し問題を通して、作業の特徴及び作業領域の特徴を反映するポテンシャル場の獲得方法を導出し、またこの手法の有効性及び適用範囲を明らかにしている。

本論文は以上のような問題から屋外不整地での自律作業車両による無人作業を実現するための制御スキームを構築するための手法を提案しており、これをシミュレーションと実機、双方からその特性を検証している。

本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。

1. 従来の自律作業車両の制御手法について検討して屋外不整地環境での適用限界を指摘し、新しい制御スキームを提案している
2. 屋外不整地環境における作業領域全体を被覆するような作業経路を生成する手法を導出している
3. 屋外不整地の車両制御を確実にするために、作業環境が移動に与える影響を考慮した経路生成手法を導出している
4. 屋外不整地での無人作業を実現する自律作業車両において、センサー制御系の基本的な性能評価により屋外の雰囲気に強いシステムを構築している
5. 提案する制御スキームによる車両制御を実現する車載システムの構成を実験により検証している
6. 複数台の自律作業車両による協調作業を実現するための手法を導出し、箱押し問題を通して有効性を検証している

これを要するに、本論は屋外不整地環境における自律作業車両経路決定問題に対して、悪環境下を前提条件とした上で無人作業の実現可能な学習機能を導入した経路決定のための制御スキームを提案し、これを試作した自律機能付除雪機械や大型農作業機械に適用し提案手法の評価を行ったものである。結果として屋外作業における経路決定問題に関する有益な知見を得ており、ロボット工学、複雑系工学分野に貢献することは大なるものがある。

よって著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。