



Research on double-spiral mechanisms for mobile robots on wetlands

その他（別言語等）のタイトル	湿原用移動ロボットのための二重螺旋機構に関する研究
著者	LIU Qunpo
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第364号
学位授与年月日	2014-09-25
URL	http://hdl.handle.net/10258/3760

氏名 リュウ チュンポー
劉 群坡

学位論文題目 Research on double-spiral mechanisms for mobile robots
on wetlands
(湿原用移動ロボットのための二重螺旋機構に関する研究)

論文審査委員 主査 准教授 花 島 直 彦
教授 風 間 俊 治
教授 寺 本 孝 司

論文内容の要旨

本論文では、環境調査を支援するロボット技術の開発を目的としており、湿原で螺旋進行機構について取り上げ、3次元モデルの設計、運動学と動力学解析、シミュレーション、動作性能解析を示した。今現在、世界では湿原の面積は年々減少する傾向にあり、湿原の保全や再生の一環として湿原の現地調査が行われている。調査を効率的に行うために移動ロボットに対する要求がある。このような屋外・不整地での作業を目的としたロボットの移動機構として、クローラや車輪を採用しているものが一般的である。本研究で提案している螺旋移動機構は草の間を縫うように進むことで、草の抵抗を大きく受けず、湿原の植物を傷つけることなく移動できる。本研究の最終目的は、湿原特有の丈長草地において、調査機材をロボットに積載し、遠隔地であるいは自律で操作および計測等調査ができる移動機構を実現することである。

本論文ではまず、二重螺旋推進機構の提案と設計最適化、全体の構成など動作過程について述べた。装置全体は大きく分けてプラットフォーム、マニピュレータ、螺旋駆動ユニット、螺旋の4つの部分で構成される。螺旋の持ち上げ等のマニピュレータには螺旋の上に立脚するためのものと螺旋の把持・駆動を行う螺旋駆動ユニットの二種類がある。ロボットの移動について、脚部が次の螺旋へ移動するとき、シリアルマニピュレータとして働く。また、ロボットのプラットフォームを移動させ、ロボットの重心を移動させるとき各脚は固定されており、パラレルマニピュレ

ータとして働く。これらの座標系を確立し、運動解析を行った。

次に、螺旋を保持し、回転させる機能が求められる駆動ユニットについて述べた。プーリーを利用した駆動ユニットを提案し、詳細設計と製作・組み立て、実験システムの運動学方程式の導出及び理論を明確にし、それに基づく、モーションキャプチャを用いた特性計測による実験データを解析した。駆動ユニットの動力学モデルの検討及び理論解析を行い、駆動装置と螺旋体を使って屋内および屋外において実験を行い、その結果を考察し、螺旋駆動に必要なトルクを算出するところまでを述べた。

螺旋の把持・駆動等の動作を行う螺旋駆動ユニットにおけるマニピュレータは回転関節3つと直動関節1つで構成されるものとする。運動学と逆運動学を解析し、マニピュレータのワークスペースの検討と評価を行った。把持と駆動を行う駆動ユニットの動力学モデルをロボットシミュレータ(V-REP)により構築してシミュレーションを行った。その結果を考察し、駆動ユニットの動作性能を検討・評価した。

ABSTRACT

This dissertation has been dedicated to the study, modelling, simulation and motion analysis on spiral mechanisms for robot moving on wetlands. Environmental problems related to wetlands have attracted strong concern around the world during past decades. Many kinds of mobile mechanisms have been developed to satisfy demands of environmental investigation of wetlands. However, few researchers have studied spiral propulsion mechanisms. Our previous work showed that the spiral was able to move forward between gaps of plants, giving only very slight damage to plants. It is introduced to carry measurement devices in wetlands when investigating the current state of wetlands.

The structure and walking procedure of a proposed double spiral robot are derived. The bilateral symmetry robot consists of a platform, manipulators, and spirals. In the walking procedures, the manipulators work as serial structure with open kinematic chain and serially connected links, except one step in one walking circle. The kinematic analysis of the robot working as a serial mechanism is performed, in which the detailed structure, coordinate system,

and parameters of this mechanism are given. Modeling and kinematic analysis are also addressed when the robot is working as a parallel mechanism.

As the fundamental unit of spiral mechanisms, spiral driving unit should rotate spiral (without a center axle) in the expected direction in a stable attitude. Center axle drive method and circumference drive method have been introduced. To enhance the stability of spiral, a new drive method based on three U-shape pulleys is proposed. The structure and dynamic model are derived. To verify the driving units' performance, experiments were performed based on a motion capture system. We also proposed a method to analyze the attitude angles, rotated angles and traveling displacements of the spiral. The kinematic relations between the driving unit and the spiral are established on the premise of the data from the motion capture system. Experimental results for driving units of two kinds of drive model are quantitatively analyzed, with emphasis on attitude stability, technical feasibility, and repeatability. To investigate the resistance between spiral and the stems of grass, in-door and field experiments are also performed under the conditions of cone-shape end parts mounted and un mounted respectively.

A manipulator arm which consists of 3 revolute joints and 1 prismatic joint is proposed to satisfy requirements of driving unit for gripping and rotating spiral. The forward and inverse kinematic are fulfilled and the 3D model of the manipulator is established in an dynamic simulation software (V-REP). To verify the feasibility, the process of manipulator gripping spiral is simulated. As a result, the joint position and joint internal position error curves are significantly reduced.

論文審査結果の要旨

今現在,世界では湿原の面積は年々減少する傾向にあり,湿原の保全や再生の一環として湿原の現地調査が行われている。調査を安全に効率的に行うために移動ロボットに対する要求がある。この論文は,湿原の環境調査を支援するロボット技術の開発を目的としており,螺旋移動機構に焦点を当て,3次元モデルの設計,運動学と動力学解析,シミュレーション,動作性能解析の結果について考察をしている。

このような屋外・不整地での作業を目的としたロボットの移動機構としては、クローラや車輪を採用しているものが一般的であるが、本研究で提案している螺旋移動機構は草の間を縫うように進むことで、草の抵抗を大きく受けず、湿原の植物を傷つけることなく移動できる点で有利である。

この論文では、まず二重螺旋推進機構の全体の構成や動作過程について説明している。装置全体は大きく分けてプラットフォーム、マニピュレータ、螺旋駆動ユニット、螺旋の4つの部分で構成され、このうちマニピュレータは、螺旋の上に立脚するためのものと、螺旋の把持および回転を行うものの2種類がある。次に、前者については、遊脚時にはシリアルマニピュレータ、支持脚時にはパラレルマニピュレータとして機能するという観点から、これらの座標系を確立し運動解析を行っている。プロトタイプとして回転関節3つと直動関節1つで構成したマニピュレータを製作し、運動学解析およびワークスペースの検討と評価を行い、動力学解析ソフトによるシミュレーションにより、駆動ユニットの動作性能の検討および評価結果も示している。他方、後者の螺旋の把持および回転を行うマニピュレータについては、そのエンドエフェクタとして、U字型プーリーを使用し螺旋の外周を保持しながら安定に回転させる駆動ユニットを提案し、その設計、試作、動作試験を行っている。螺旋の運動を非接触で計測するため、モーションキャプチャを活用した螺旋の運動解析理論を新たに構築し、実験結果を考察しており、その手法の新規性が評価できる。さらに、駆動ユニットの動力学モデルの検討及び理論解析を行い、駆動装置と螺旋体を使って屋内および屋外において実験を行い、螺旋駆動に必要なトルクの算出を行っている。

以上より、この論文では湿原における螺旋移動機構という、他に例のない移動機構に関して、主にマニピュレータ部分の技術開発を行い、新たな知見を理論的に実験的に示していることから、博士（工学）の学位論文に値すると判断する。