

氏名	本仲 君子
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第5153号
学位授与の日付	平成27年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	クワッドロータのためのキノダイナミック動作計画
論文審査委員	教授 渡邊 桂吾 教授 見浪 護 教授 五福 明夫

学位論文内容の要旨

動作計画は自律移動ロボットにとって不可欠な要素である。現在、人の生活する環境で自律的に動作し、活躍するサービスロボットの開発が期待されているが、人の生活環境においてロボットを自律移動させるためには、動作計画を通して環境やロボットの状態を考慮した適切な制御入力を決定する必要がある。このとき「運動学」と「動力学」とを考慮する必要がある。そこで、一般的にロボットの自律移動を実現するための手法として経路計画などを用いて運動学的な拘束を解いた後に、その結果を用いて動力学的な拘束を解くという手法がとられてきた。これに対し、キノダイナミック動作計画という手法が存在する。キノダイナミック動作計画は運動学的な拘束と動力学的な拘束を同時に考慮することで、従来手法に比べると制御入力を決定するための手順を単純化することができる。

キノダイナミック動作計画は近年注目を集めており様々な手法が提案されているが、本研究ではハーモニックポテンシャルフィールド (HPF) に基づくキノダイナミック動作計画を扱う。HPF は停留点のない滑らかなポテンシャルフィールドである。HPF に基づくキノダイナミック動作計画では、障害物を含む環境の境界情報と任意に指定した目標位置の情報から環境内に HPF を生成し、その勾配を制御対象の動力学を考慮した姿勢制御のための入力と組み合わせて用いることで制御入力を決定する。HPF に基づくキノダイナミック動作計画の利点は、あらかじめ障害物と目標位置を考慮して環境全体の勾配を生成しておくことで、制御対象が環境内のどこにいても現在位置における HPF の勾配を参照することで向かうべき方向を瞬時に決定し制御入力を生成できる点である。

この HPF に基づくキノダイナミック動作計画は質点を制御対象としたシミュレーションによってのみその有用性が示されていた。そこで本論文ではこの手法を4つのプロペラを持った VTOL 型の飛行ロボットであるクワッドロータに適用できるよう拡張し、3次元空間内において指定した任意の位置まで障害物を避けながら自律飛行を行わせることを主な目的とする。具体的には、クワッドロータの動力学を考慮し姿勢を制御するための非ホロノミック制御入力に、障害物を避け目標位置まで誘導するための HPF の勾配に基づく制御入力を合成することによりキノダイナミック動作計画を実現する。ここで、提案した制御器には相互に作用し合う複数のゲインが含まれており、手動で最適なゲインを決定することは困難であることが予想される。そこで遺伝的アルゴリズム (GA) を用いてゲインの最適化を試み、ゲインの調整により制御性能が向上することを数値シミュレーション上で示す。

また、従来の HPF に基づくキノダイナミック動作計画は X-Y 平面上における移動のみを扱っていた。しかしながら、実環境における使用を想定した場合、3次元的な移動が不可欠である。そこで本研究では X-Y、Y-Z、X-Z 平面上にそれぞれ生成した HPF を用いて3次元空間におけるクワッドロータのキノダイナミック動作計画を実現する。このとき、各平面上に生成した2次元の HPF を切り替えながら用いて制御対象を誘導する手法と、3方向に生成した HPF の勾配を合成して誘導する手法の2種類を提案し、シミュレーションによってそれぞれの制御性能を比較する。最後に、提案した制御器を実機に実装し、その有効性の検証を行う。

論文審査結果の要旨

動作計画は自律移動ロボットにとって不可欠であり、運動学制御または動力学制御を元にして障害物回避を含む軌道追従制御問題へ拡張することで解く方法が良く知られている。一方、環境情報として得られるポテンシャルを利用した運動学的な拘束と制御対象の動力学情報からなる拘束を同時に解くキノダイナミック動作計画が提案されており、さらに特異点を含まないハーモニックポテンシャルフィールド (HPF) に基づく動作計画も提案されてきた。

本論文は、VTOL型飛行ロボット的一种であるクワッドロータのためのキノダイナミック動作計画法を提案したものである。まず質点を制御する場合についてHPFを用いた3種類のキノダイナミック動作計画から得られる制御器の比較をシミュレーション上で行い、それぞれの制御器ゲインの変動に対する制御性能への影響を明らかにした。次に、質点系での動作計画を2次元空間でのクワッドロータの制御に拡張し、シミュレーション上で提案手法の有効性を検証した。また、提案手法に含まれる複数のゲインを遺伝的アルゴリズムで最適化し、制御性能が向上することをシミュレーションで示した。さらに、3次元空間におけるクワッドロータのキノダイナミック動作計画を実現し、2次元のHPFの勾配を利用する2つの手法を提案し、シミュレーションによって提案手法の有用性を実証した。最後に、提案した制御器を実機に実装し、その有効性の検証を行った。

このように本研究はHPFに基づくキノダイナミック動作計画を、VTOL型飛行ロボット的一种であるクワッドロータの2次元動作計画に拡張適用し、提案手法に含まれる各種ゲインの最適化、2次元空間での動作計画を3次元空間で利用するための2つの方法を提案、および室内での実機実験による提案手法の有用性を実証したものである。これらの成果はロボット工学、特にVTOL型飛行ロボットの動作計画の技術の発展に寄与するものである。

本学位審査委員会は、学位論文の内容ならびに参考論文等を総合的に判断し、博士(工学)の学位に値するものと判断する。