

# Obstacle-avoiding B-spline Path planning generation strategy for G2-continuous non-holonomic robot

任, 慧喬

<https://hdl.handle.net/2324/4495999>

---

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (機能数理学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名	任 慧喬		
論 文 名	Obstacle-avoiding B-spline Path planning generation strategy for G2-continuous non-holonomic robot (G2 連続非ホロノミックロボットに対する障害物回避のための B スプラインを用いた経路計画の生成戦略)		
論文調査委員	主査 九州大学	教授	藤澤 克樹
	副査 九州大学	教授	溝口 佳寛
	副査 九州大学	教授	神山 直之
	副査 東京電機大学	教授	岩瀬 将美

## 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

産業用ロボットの活用や自動運転技術などの開発や普及によって、数理的手法による経路計画の策定の重要性は非常に大きくなっている。そのため経路計画はロボットの動作決定の中核をなすものであり、経路計画の主要な課題の一つは障害物の効率的な回避である。この問題における主要な視点は、経路における構成を動的構築して障害物を発見した後に、それらを回避するための経路を探索する方法と障害物に基づいて経路を生成する方法の 2 つが存在する。近年のロボット技術の進化に伴って、ロボットの動作はより複雑になり、非ホロノミックな制約などの複数の制約を同時に満たす必要がある。

本論文では、非ホロノミック制約と連続曲率制約を持つロボットの経路計画に取り組んでいる。衝突のない回廊(コリドー)内で、クロソイドスプライン、円弧、線分を組み合わせた B スプラインを活用して経路計画を考慮している。このアプローチによって生成される軌道は、障害物回避可能で、かつ G2 連続(曲率連続)であることが示されている。

衝突のない回廊は、円弧制約を用いて構築されている。円弧制約は障害物の位置を表し、円弧制約に基づいて衝突のない回廊が生成されている。この戦略は、障害物を考慮するという観点から採用されている。

回廊内には G2 の連続した軌道が生成される。軌道は常に線分から出発すると仮定しているため、曲率と接線角度はゼロとし、スプラインの解法を単純化していく。クロソイドスプラインを解析すると、先の仮定の下では、スプラインの始点と終点の接線角度と接線値が直線的な相関関係を保つというスプラインの特性が重要となってくる。この性質を利用して、スプラインが回廊に収まるか、何らかの調整が必要かを判断することができる。

本論文の戦略は、曲率連続の障害物回避可能な軌道を、障害物ベースの時間的複雑さをパラメータとして、解明していくものである。障害物ベースの時間的複雑さは、通常、構成ベースの複雑さよりも小さい。さらに、軌道生成の曲率の制御と計算が容易である。

本論文における研究提案の利点としては以下を挙げることができる。

1. 状態格子や他のベジェスプライン、キュービックスプラインを用いた既存の手法と比較して。クロソイドスプラインは、曲率の制御が容易である。生成された経路を確認すると、既存の手法であるベジェスプラインの軌道はほとんど車線に沿っていないことが判明した。
2. 衝突のない回廊は、障害物回避タスクを容易にするが、コスト計算方法は、はるかに時間がか

かり、実用的な時間で良い解に到達するのは困難である。

3. 状態格子の時間的複雑さの部分は考慮する点数  $n$  の 2 乗に比例するのに対して、提案手法では  $n$  の 1 乗(線形)に比例するに過ぎない。計算実験(Intel Core i5 2.9GHz 搭載ラップトップ)では、状態格子アプローチが 4 分 32 秒かかるのに対し、本提案手法では 41 秒である。

本提案手法では、状態格子のようにパスが滑らかでないことが判明している。これは、軌道の生成計算が積分計算の精度に大きく依存しているためであり、いくつかの非定常出力問題を引き起こすため将来的には調整方法で対処する必要がある。こちらは今後の課題となる。

以上の結果は、査読付き国際会議論文 3 編として出版されており、数理的手法を用いた経路探索の分野において価値ある業績と認められる。

よって、本研究者は博士(機能数理学)の学位を受ける資格があるものと認める。