

包含立体を用いたクリアランスを有する経路の高速生成

Fast Planning for Safe Motion Path by using Bounding Volumes

○正 辻 徳生 (九州大) 正 原田 研介 (産総研)
 諸岡 健一 (九州大) 正 倉爪 亮 (九州大)

Tokuo TSUJI, Kyushu University, tsuji@ait.kyushu-u.ac.jp
 Kensuke Harada, Advanced Industrial Science and Technology
 Ken'ichi MOROOKA, Kyushu University
 Ryo KURAZUME, Kyushu University

This paper reports a new shortcut method of the path planning for keeping clearance between the path and the obstacles. The bonding volumes which have the clearance to each robot link are generated and used for estimating the rough distance of the robot and the obstacles. The effectiveness of the method is verified in simulation.

Key Words: Path planning, Shortcut, Bonding volume

1 緒言

生活支援ロボットや人と協働するロボットは、変化する環境で障害物と接触せずに動作することが求められる。そのため、ロボットは安全性を考慮しながらオンラインで動作を生成する必要がある。本発表では、初期姿勢と目標姿勢までのロボットの動作経路をクリアランス確保して高速に生成する手法を提案し、実装して有効性を確認する。

従来、PRM や RRT などのランダムサンプリングにより経路を求めた後、後処理でショートカット経路をランダムに探索し、より短い経路を生成する手法が提案されている [1]。後処理において、単純に短い経路を生成していくと障害物をかすめる経路が生成され、実機の衝突の危険性が高くなる。したがって、後処理において経路のクリアランスを確保する必要がある。本手法では、クリアランスを有する包含立体を用いて、安全性を確保した短縮経路を高速に生成する。

2 経路計画

経路計画では、初期位置姿勢と目標位置姿勢が与えられた際に、障害物を回避してその間をつなぐ動作経路を生成する。これは、ロボットの状態の各自由度を軸とするコンフィギュレーション空間の経路探索問題となる。探索により生成された経路は、各コンフィギュレーションをノードとし、そのノード間を線分で見ないグラフとして表現できる。これまで、PRM や RRT などのランダム探索に基づく経路探索手法 [2] が提案されている。これらの手法で生成された経路 (Fig.1(a)) は、いくつもの折り返しからなる冗長な経路であることが多く、探索後に経路の短縮を行う手法も提案されている。例えば、経路上に2つノードをランダムに生成し、そのノード間をショートカットできるか確認し、ノード間に障害物がなければ、ショートカットして経路を短縮する。この処理を単純に繰り返すと、より線路長の短い経路 (Fig.1(b)) を生成することができる。一方で、障害物をかすめるような経路が生成され、実機で実行すると衝突の危険性の高い経路となる。

したがって、ショートカット生成の際に障害物とロボットの間でクリアランスを確保する手法が必要である。その手法の一つとして、障害物との距離が一定以下になるショートカットは採用しない手法が提案されている (Fig.1(c))。この手法では、狭隘な経路を通る場合やランダム探索で生成されたノードが環境と接近した場合など、初期経路が設定した距離以下の部分はショートカットされずに冗長な経路が維持されることが、問題点としてあげられる。さらに、クリアランスの確認のための計算コストも問題となる。経路のクリアランスは、ノード間の線分上でサンプリングされた複数点で確認する必要がある。この確認を密に行えば安全

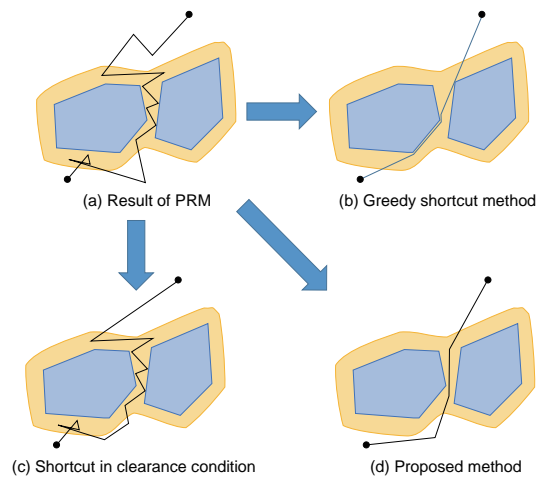


Fig.1 Overview

性の精度があがるが、その分計算コストが大きくなる。疎に行えば計算コストは小さくなるが、サンプリングしたコンフィギュレーションの間にある障害物を見落とす可能性がある。また、障害物とロボット間の距離計算は、単純な干渉判定に比べて計算コストが大きい。階層的包含立体を用いて距離計算の高速化を行っても、2つの立体上の最近傍点を探索するためには、最も低い層まで探索する必要がある。一方で、干渉判定は、階層化すれば浅い層でも判定できるため高速である。

3 提案手法

経路計画のショートカットの計算手法に改良を加える。従来手法では予め設定したしきい値よりも障害物の近くを通過する経路はそのまま維持されるという問題があった。そこで、提案手法では、生成されたショートカットが、そのショートカットの両端の点と比較して障害物との距離が短くならない場合は、そのショートカットを採用する。この変更により、しきい値を設定せずに経路の短縮が可能で、さらに従来手法と同様の安全性も確保できる。

障害物とロボットとの距離計算コストの削減のために、ロボットの各リンク毎にサイズの異なる包含立体を複数生成し、その包含立体と障害物の干渉判定を行う。サイズの異なる包含立体を用いると、どのサイズの包含立体が干渉したかによって、障害物とロボットとの大まかな距離を推定することができる。障害物とロボット間の正確な距離を計算した場合と比較して、干渉判定の

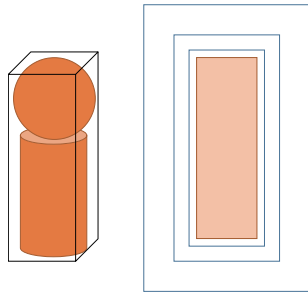


Fig.2 Multi-size bounding box

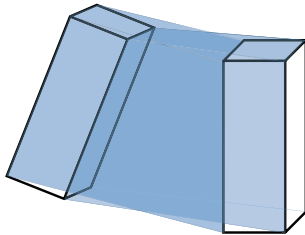


Fig.3 Sweeping region

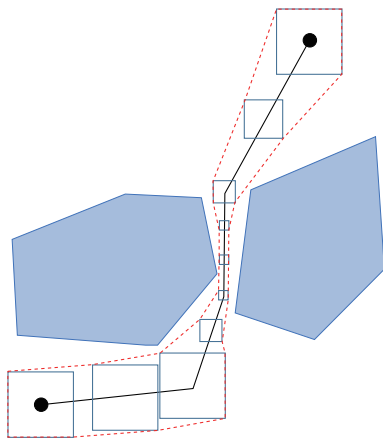


Fig.4 Example of generated path

みで計算できるため計算コストを大きく削減できる。また、包含立体の通過領域を近似する立体を生成し、2つの近傍にあるコンフィギュレーション間のクリアランスを保証する。この手法によりノード間の線分上でのサンプリング数を減らしても精度を維持できる。

4 クリアランスを有する包含立体の実装

包含立体として直方体を用いる。まず、各リンクを内包し、面がリンクと接する直方体を基準直方体として作成する。この直方体の辺を 10 mm, 20 mm, 40 mm, 80 mm 対称に伸ばした直方体を生成する。この直方体との干渉判定により、対象物とロボットとの大まかな距離を得ることができる。

さらに、ノード間の線分上に一定間隔でサンプリングし隣接するサンプリング点で包含直方体が通過する掃引領域の近似立体を生成し、干渉判定を行う。まず、隣接するサンプリング点での2つの包含立体の対応する頂点を結び辺とし、この辺と包含立体上の辺により四角形を生成する。この処理をすべての辺で行い Fig.3 に示すような掃引領域の近似立体を生成する。

生成されたパスのイメージを Fig.4 に示す。青枠で示す包含立体により障害物との距離が確保され、ノード間も赤い点線で示す掃引領域の干渉判定によりクリアランスが確保されている。

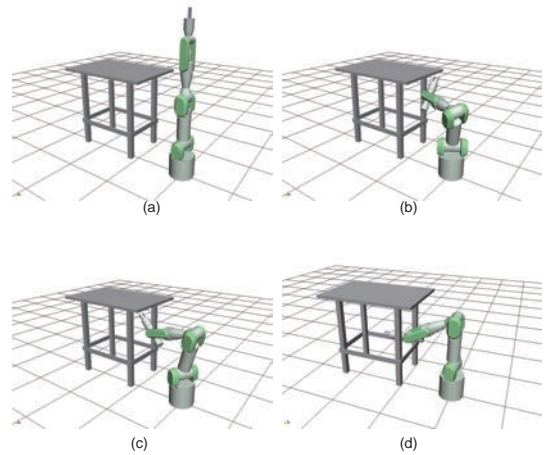


Fig.5 Simulation result

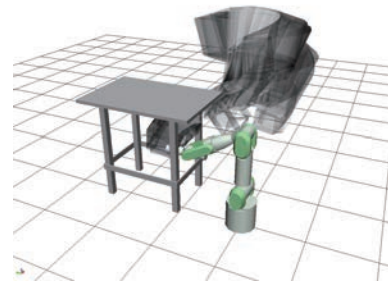


Fig.6 Sweep region of bounding boxes

5 シミュレーション

提案手法を Choreonoid 上に実装し、シミュレーションを行った。ロボットは PA10 を用い、障害物として机を設置した。Fig.5 に示す通り、初期姿勢から目標姿勢まで干渉を回避しクリアランスを確保した経路を生成できた。その際の手先のリンクのショートカットのチェックを行った掃引領域を Fig.6 に示す。掃引領域の干渉判定により、障害物との距離が維持できていることが確認できる。計算時間は、提案手法を用いずにクリアランスを確保していない場合とほぼ同じであった。

6 結言

ランダム探索された経路の短縮処理において、新たなショートカット生成条件を提案し、安全性を確保しかつ短縮した経路生成を行った。サイズの異なる包含立体と、その包含領域の掃引領域を近似した立体により高速な距離判定を実現した。

References

- [1] 原田 研介, “ロボットの動作計画における最適化”, 日本ロボット学会誌, vol.32, No.6, pp.508-511, 2014.
- [2] LaValle, Steven M. Planning algorithms. Cambridge university press, 2006.