

直接操縦から自律制御へのオンライン移行型遠隔作業ロボットシステム 連続自由空間の獲得と動作計画用ロードマップの連結

向井大樹 長谷川勉 村上剛司 倉爪亮(九大)

On-line Transition to Autonomous Teleoperation from Master-slave Manipulation - Continuous Free-space and A Globally Connected Roadmap for Motion Planning -

Daiki Mukai, Tsutomu Hasegawa, Kouji Murakami, Ryo Kurazume
Kyushu University

Abstract— This paper describes a new approach to rapidly generate roadmap for collision-free motion planning. Using motion data of a teleoperated manipulator and scanned space by a stereo camera mounted on the hand, continuous free-space is structured. The free-space is utilized to generate probabilistic roadmap. Nodes in this roadmap are connected with BI-RRT. Thus on-line transition to autonomous teleoperation is achieved.

Key Words: master-slave manipulation, free-space, motion planning

1. はじめに

マスタスレーブ方式の遠隔マニピュレータを用いると、危険な非整備環境でも事前知識なしで安全に作業を実施できる。しかしオペレータには高度な操作技術と高い集中力が要求される。オペレータの操縦負担を軽減するため、筆者らは直接操縦から自律制御へのオンライン移行を実現する新システム方式を提案した [1][2]。

このシステムでは作業工程を2つのフェーズに分割する (Fig.1)。フェーズ1はオペレータがマスタスレーブ方式でマニピュレータを操縦して作業を行う。このときスレーブアームの掃引空間とアームに搭載したステレオカメラの計測空間とを障害物の存在しない3次元の自由空間として蓄積する。フェーズ2ではこの情報を用いて自律作業を行う。オペレータは物体の把握や移動などの高レベルな命令を与えるだけで、システムがマニピュレータの動作計画を立て、自動的に作業を実行する。

しかしこの方式で得られる自由空間は真の空間よりも小さい。内部にも多数の小さな未知空間が残ってしまうため動作計画が困難になる。本報告ではこの問題を解決する手法を提案する。

2. 3次元実空間での自由空間の逐次獲得

動作計画にはロードマップと呼ばれるグラフを用いる [3]。ロードマップの頂点はマニピュレータが障害物と衝突していないコンフィギュレーションの集合であり、自由空間内でランダムに選ばれる。各頂点を結ぶ辺は、障害物と衝突しない動作経路を表す。動作計画は初期コンフィギュレーションから目標コンフィギュレーションまでの経路をロードマップ上で探索して行う。

マニピュレータが安全に動作可能な自由空間は2つの手法で獲得する。第1の手法では、オペレータの遠隔操縦時にマニピュレータ各部が占有あるいは掃引した3次元空間を自由空間として蓄積する。第2の手法ではマニピュレータ先端部にステレオカメラを搭載し、視点からカメラ視野内にある各物体までの奥行きを計測する。このとき視点から各物体までの間には障害物が存在しないことが分かる。そこでオペレータの遠隔操縦と並行しながらこの空間を自由空間として逐次獲得する。

これらの手法で獲得した自由空間は複雑な構造をしており、自由空間の内部には障害物の有無が確認されていない未知空間が隙間のように残ってしまう。これはマニピュレータの動作が複雑であることや、ステレオ計測ではオクルージョンなどの問題により奥行き情報が完全には得られないためである。自由空間内部に隙間ができることとマニピュレータの自律動作は制限され、ロードマップの生成にも時間を要する。しかし地上では重力により物体が空中に浮遊した状態では存在しえない。そこで未知空間であっても周囲を自由空間で囲まれている場合はその未知空間を自由空間とみなして、マニピュレータの自律動作経路の増加とロードマップ生成の高速化を図る。

3. BI-RRT によるロードマップの連結

障害物の多い作業環境では局所的に狭い領域をもつ自由空間が得られる。このような自由空間でロードマップを生成するとき、頂点数が少なく各点同士を連結させることが困難になり、ロードマップは複数の連結グループに分割される。頂点数が増せば各点が連結したロードマップを生成できるが、ランダムに増加させるとロードマップの生成時間は非常に長くなる。そこで、分割された連結グループの中でも特に多くの点を持つグループ同士を BI-RRT を用いて連結する。BI-RRT は少

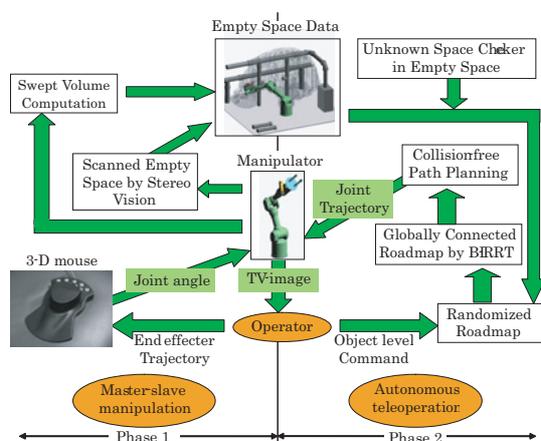


Fig.1 System structure

数の頂点を追加するだけで2つのグラフを高速に連結させる手法である。

4. 実験

4.1 自由空間内の孤立未知空間の獲得

マニピュレータを Fig.2(a) で示す実作業環境で遠隔操作した。Fig.2(b) は同マニピュレータのシミュレータモデルであり、1辺 2.0m の立方体で表現された3次元空間の情報を記録する。このとき得られた自由空間とその内部の未知空間を Fig.3 に示す。自由空間は全作業空間の 62.67% であり、その内部の未知空間は全空間の 0.34% である。この未知空間を自由空間に統合するとロードマップ生成に要する時間は 1/2 程度に短縮された (Fig.4)。

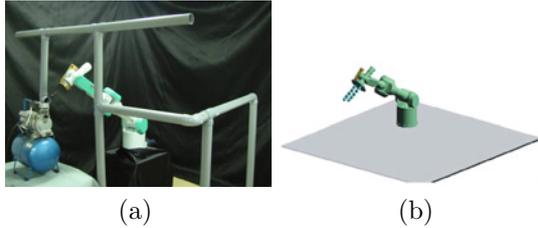


Fig.2 Real environment (a) and simulator model (b)

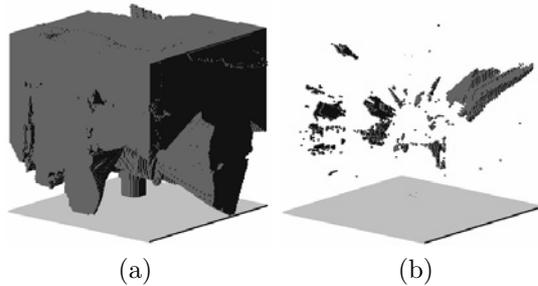


Fig.3 Integrated free space (a) and discretely distributed unknown cells (b)

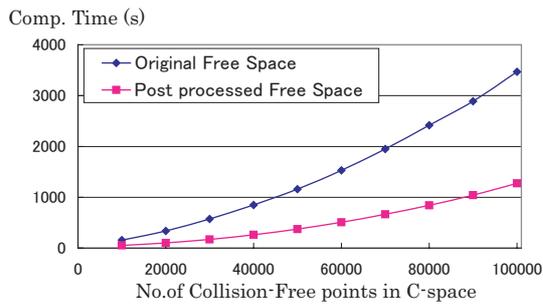


Fig.4 Comparison of computation time

4.2 ロードマップの連結

Fig.5(a) で示す作業環境でマニピュレータを操作し、ロードマップを生成した。このとき得られた自由空間を Fig.5(b) に示す。この自由空間は内部の未知空間も獲得しており、全作業空間の 35.35% である。Fig.6 はロードマップ内の連結グループを頂点数の多いものから順に並べたグラフである。縦軸は各グループの頂点数が全体に占める割合を、横軸はグループの番号を表している。40000 個の頂点を持つロードマップの生成に要する時間は 339s であった。このとき頂点の約 6 割は 2 つの連結グループに分割される (Fig.6(a))。これは作業環境の

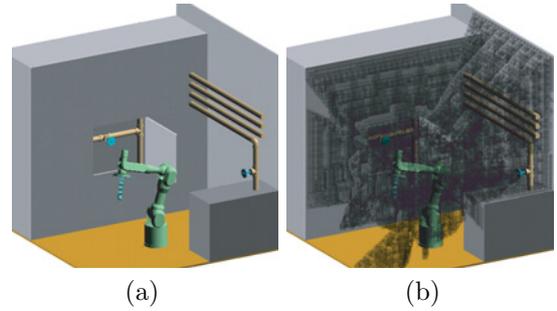


Fig.5 simulation environment (a) and free space (b)

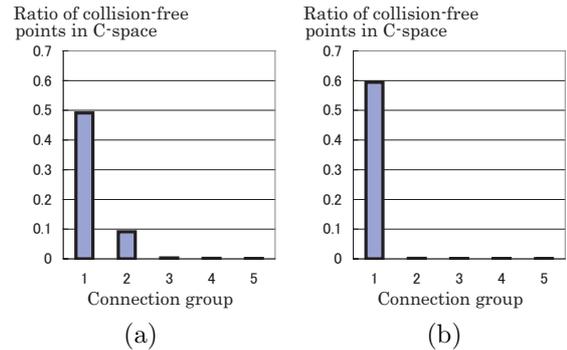


Fig.6 Comparison of connection groups : (a) original roadmap, (b) connected roadmap

右側に障害物が密集し、自由空間が局所的に狭いためである。そこで、BI-RRT を用いてロードマップの連結を行った。連結に要した時間は 1.8s、追加した頂点数は 359 個であり、分割されたグループを高速に連結できた (Fig.6(b))。

5. むすび

本稿では、隙間のない連続した自由空間を獲得する手法とロードマップを高速連結する手法について述べた。自由空間に隙間がなくなると、より多様なマニピュレータの自律動作が可能になり、ロードマップの生成時間も減少した。また局所的に狭い自由空間では、分割されたロードマップを即座に連結できた。以上の実験結果より、本稿で述べた手法の有効性を確認できた。

参考文献

- [1] 長谷川勉, 小船博行, 向井大樹, 村上剛司, 倉爪亮, “直接操作から自律制御へのオンライン移行型遠隔作業ロボットシステム- 自由空間の高速獲得とオペレータ支援機能 -”, 第 22 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1E24, 2004
- [2] 長谷川勉, 中川公輔, 村上剛司, “遠隔マニピュレータの作業空間構造獲得と障害物回避動作計画”, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.4, pp.515-518, 2004
- [3] K. E. Bekris, et al., “Multiple Query Probabilistic Roadmap Planning using Single Query Planning Primitives”, IROS, pp.656-661, 2003