

災害支援自律ロボットにおける

サポートエンジンの開発

～ 災害復旧現場を想定した”自律思考ロボットアーム”の
モーション計画の最適化 ～

1. 背景

近年、人工知能技術の進歩とともに、ロボットが自律的に周囲を認識し、未知の環境に適応しながら行動する「自律ロボット」の研究が盛んに行われている。この技術の発展により、災害現場や危険な作業現場において、人間が直接立ち入ることなくロボットが作業を遂行することが可能になりつつある。

しかし、従来の産業用ロボットアームは主に 6 自由度で設計されており、特定の作業環境に最適化されている。そのため、未知の環境や災害現場のように構造が不安定で障害物が多数存在する空間では、従来のロボットアームのモーションプランニング手法では適切な経路を見つけることが困難である。

特に、災害現場では建物の倒壊や瓦礫が散乱しているため、ロボットが安全に移動しながら作業するためには、高自由度のロボットアームが求められる。6 自由度のロボットアームでは対応しきれない複雑な動作が必要とされるため、多関節構造（連続体ロボット）の活用が不可欠である。

しかし、関節の自由度が増加すると、ロボットアームの制御が極めて難しくなる。特に、従来のモーションプランニング手法では計算量が膨大になり、リアルタイムでの動作計画が難しいという課題がある。このため、高自由度ロボットアームの動作計画を最適化する新たな手法の開発が求められている。

2. 目的

本プロジェクトでは、災害復旧現場を具体的解決ターゲットに据え、高自由度ロボットアームのモーションプランニング手法の開発を行う。

従来の探索手法では困難であった環境でも迅速に動作計画を生成できるよう、量子アニーリングを活用した最適化手法を提案し、ロボットの作業効率と安全性の向上を目指す。

また、ロボットアームのモーションプランニング手法を比較・評価するために、比較検討アプリケーションを開発した。本アプリケーションは、異なるモーションプランニング手法の性能を定量的に評価し、最適な経路計画手法を導出するための重要なツールとして機能する。

3. ソフトウェア開発内容

本プロジェクトでは、下記3つの開発を行った。

- ① 災害復旧におけるロボットアームの動作計画を対象とし、量子アニーリングを用いたモーションプランニング手法の開発
- ② 実際のロボットアームの動作を仮想環境で再現し、各種アルゴリズムの比較検討を可能にするため、Unity上でシミュレーションアプリケーションの実装
- ③ ローカル環境上で効率的な探索を可能にするために未踏以前より個人開発していたアニーリングマシンをさらに発展させる形での継続的开发

① モーションプランニング手法の開発

多関節ロボットアームが多くの障害物のある環境でモーションプランニングを行うという状況を再現し、具体的な課題解決に取り組んだ。本開発手法は、効率的に解空間を探索するために課題を3つのステップに分割し、段階的にアプローチする方法を採用した。

「終端軌跡探索」「姿勢差分探索」「モーション調整」という3つのステップを通し、それぞれを少しずつ最適化していく。

② シミュレーションアプリケーションの実装

本アプリケーションは、異なるモーションプランニング手法の性能を定量的に評価し、最適な経路計画手法を導出するための重要なツールとして機能する。

ユーザーに視覚的に分かりやすい検証環境を提供することが目的である。

③ アニーリングマシンの開発

制約関数の自動解析による効率的な SpinFlip 及び連鎖的 SpinFlip を利用した効

率的な探索が特徴であるアニーリングマシンを開発した。

本アニーリングマシンは、従来のクラウドベースのアニーリング処理と異なり、ローカル PC 上で高速にイジングモデルを解くことが可能であり、リアルタイム性を大幅に向上させた。

4. 新規性・優位性

一見、連続空間の最適化というアニーリングには不向きなタスクであり、圧倒的に先行研究や参考文献が少ない。そのようなタスクに挑戦した解決の方向性の一つを示せたことがプロジェクトの新規性である。

障害物が多く制約の多い環境下で多関節のロボットアームのモーシヨンプランニングでは、従来手法ではデッドロック問題が発生し解決が困難であったが、提案手法では先の状況まで予見したモーシヨンプランニングで同等の問題が発生しにくくなるという優位性を示せた。

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

効率的な多関節アームにおけるモーシヨンプランニング手法の開発により、以下のような社会課題の解決に貢献する。

① 災害時における屋内調査への貢献

災害が起きた現場では、建物が倒壊し、瓦礫が散乱する危険な状況が想定される。

人間が立ち入るのは非常にリスクが高い一方で、内部の状況を迅速かつ的確に把握しなければならない。

そのような制約のある環境下で、先行してロボットを投入し、より視認性の高い角度から状況を撮影することで二次災害を防止しつつ、救助や調査の精度を格段に高めることが期待される。

② 原子力災害復旧現場への貢献

放射線量が非常に高いエリアには、人間が直接立ち入るのはリスクが大きい。

このときも、ロボットアームの遠隔操作や自律制御が大きな鍵となる。

緻密な操作ができる多関節ロボットアームがあれば、放射線汚染区域に人を

派遣せずに、必要な作業をととても柔軟に、正確かつ安全にこなすことが可能。

こうした高度な自由度を持つアームが開発・実用化されれば、放射線被曝リスクの低減と復旧作業の迅速化に大いに貢献することが期待される。

6. 氏名（所属）

藤本 裕樹（株式会社 CyberQLead）

坂口 諒（合同会社スタープリンス）