

原子炉内作業用ロボットマニピュレータの自動動作設計手法

Algorithm for Automatic Generating Motion Trajectories of Robot Manipulator in Nuclear Power Plant

株式会社	東芝	菅沼	直孝	Naotaka SUGANUMA	Non-Member
株式会社	東芝	松崎	謙司	Kenji MATSUZAKI	Non-Member
株式会社	東芝	島村	光明	Mitsuaki SHIMAMURA	Non-Member
株式会社	東芝	向井	成彦	Naruhiko MUKAI	Member
株式会社	東芝	笠井	茂	Shigeru KASAI	Non-Member

This study proposes an algorithm for automatic generating motion trajectories of robot manipulator. This algorithm consists of two procedures. First, motion trajectories of the tool head are generated by using the concept of repulsive vector fields and motion trajectories model which consists of a number of springs and mass. Then, a posture of robot manipulator is also automatically generated using the same concept. We are planning to apply this system as a remote handling device for nuclear power plants. This system can realize shorter preparation and operation periods for maintenance work in nuclear reactor vessels.

Keywords: Robot Manipulator, Obstacle Avoidance, Repulsive Vector Field

1. 緒言

原子炉内構造物の保全作業に用いる水中遠隔機器は構造物と干渉することなく動作させる必要がある。このような動作の設計は試行錯誤で経路と姿勢を決定するため多大な労力と時間が必要であり、装置開発期間の短縮を妨げる要因となっている。また、炉内で高い位置決め精度が求められる作業では、施工中に現場で計測した構造物の形状データに基づいて経路の修正が必要な場合があり、工程遅延の要因ともなり得る。

そこで、構造物の形状データを入力するだけで作業動作を短時間で自動生成する手法を開発したので、以下に報告する。

2. 作業動作の自動生成手法

2.1 対象とする施工装置

本手法の開発では原子炉内で作業可能な汎用多軸アーム[1]を適用対象とした。多軸アームの外観を Fig.1 に、主な仕様を Table 1 に示す。沸騰水型原子炉のシェラウドサポートレグ裏側へ多軸アームでアクセスしている例を Fig.2 に示す。アーム先端には作業の種類に応じて交換可能な施工ヘッドを搭載し、VT や超音波探傷による検査、レーザーピーニング予防保全、水中レーザー溶接補修など様々な作業に対応可能である。

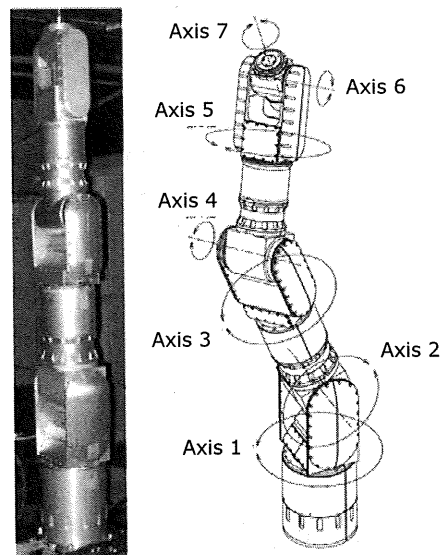


Fig. 1 7-axis manipulator

Table 1 Specifications of 7-axis manipulator

Specifications	
Number of axis	7
Weight capacity (kg)	10
Weight (kg)	55
Arm length (mm)	1600
Dia. of Arm (Max) (mm)	φ 250

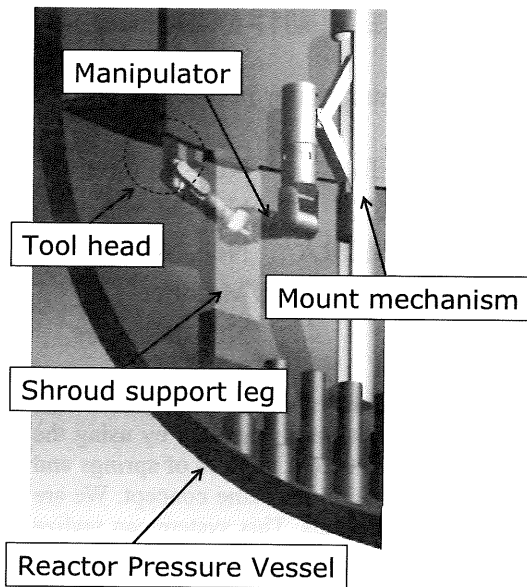


Fig. 2 Example of work in nuclear reactor

2.2 作業動作の自動生成手法

一般的な動作設計手順では、最初にアーム手先の動作経路を計画し、続いてその経路に沿うようにアーム姿勢を生成する。経路を自動的に生成する試みとして、アーム手先の目標位置と構造物に高低差を持つポテンシャル場を定義して、その勾配に沿って動作経路を探索する手法[2]が知られている。しかしながらこの手法は、経路の探索途中において局所解に停留した場合に目標位置まで到達できないという問題がある。また、アーム姿勢を自動で決定する手法に関しては、未だ実用化されているものはない。

そこで、形状データを基に即座に動作経路と姿勢を自動生成する手法として斥力ベクトル場という概念を用いた手法を考案した。斥力ベクトルとは、構造物から離れる方向を持ち、構造物に近いほど大きくなるように定義したベクトルである。Fig.3 に円柱構造物の3次元形状データを元に生成した仮想斥力ベクトル場の例を示す。この円柱構造物を回避して裏側へアーム手先を移動させる経路を求める例を以下に説明する。手先の動作経路として多数の質点とばねを連結した構造で表現した動作の経路モデル (Fig.4) を定義する。その両端の位置を Fig.5(a)に示すようにアーム手先の動作開始位置と目標位置に拘束して斥力ベクトル場に配置する。この状態で経路モデルの各質点に斥力を作用させることで、質点間に生じるばね張力と斥力ベクトル場の斥力が釣り合うまで経路モデルの形状を変化

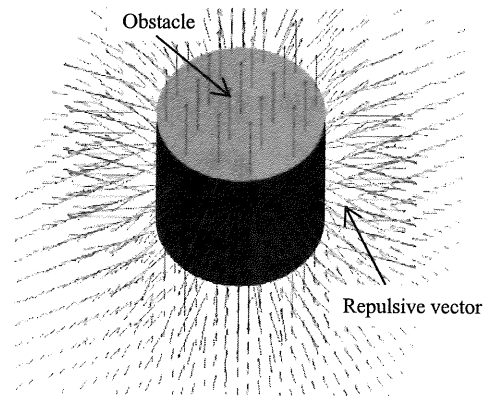


Fig. 3 Repulsive vector field

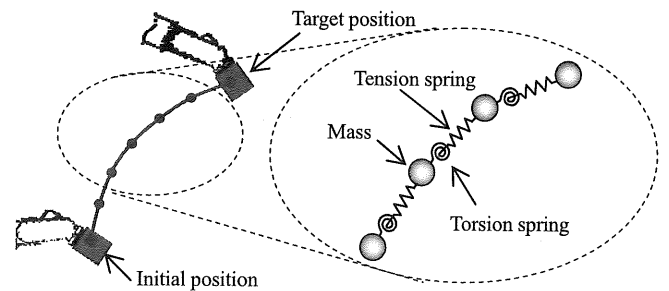


Fig. 4 Motion trajectory model

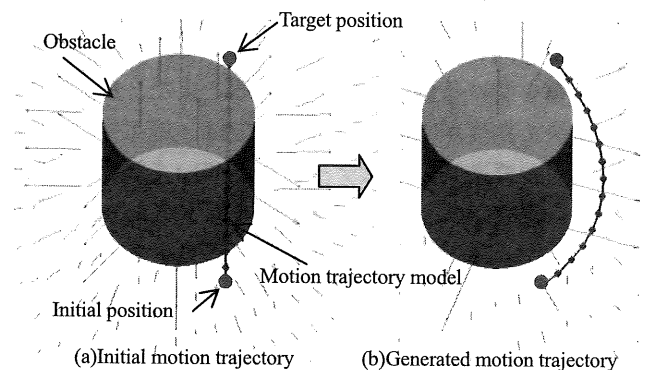


Fig.5 Generation of avoidance motion trajectory

させる。この結果 Fig.5(b)に示すような円柱構造物を回避した動作経路が生成される。

次に、アーム手先の動作経路と同様に斥力ベクトル場を用いて、アームの3次元形状モデルに対して斥力を作用させて、アーム姿勢を変化させる。斥力の作用によりアーム全体は構造物から離れようとする力を受けるが、生成した動作経路に沿う方向の力をアーム手先に作用させることで、動作経路に倣いつつ構造物との干渉を回避したアームの動作を自動で生成できる。

2.3 本手法の特長

以下に本手法の特長をまとめる。

- (1) 斥力ベクトル場は、構造物との距離に基づいて算出しており、構造物の形状が複雑な場合でも同一のアルゴリズムで容易に生成可能
- (2) 動作開始位置と目標位置が繋がれたモデルで経路形状を決定するため、探索手法のように局所解に停留することなく動作経路を生成可能
- (3) 7軸以上の自由度を持つ冗長アームにおいても適用することができ、冗長自由度を利用した干渉回避姿勢を生成可能

3. 機能確認試験

本手法を用いて、円柱構造物の裏側へアクセスする動作の自動生成シミュレーションを行った。その結果、Fig.6 に示すように目標位置を入力するだけでアーム手先の動作経路を決定し、その経路に沿う形で構造物と干渉しないアームの動作を自動で生成できることを確認した。

また、実際の多軸アームを用いて、周囲を壁に囲まれた狭隘な空間内で円柱形状の構造物の回避試験を行い、干渉することなく目標点まで到達できることを実証した (Fig.7)。

4. 結言

原子炉内で使用する汎用多軸アームの動作設計を短時間でを行うために、斥力ベクトル場を用いた動作の自動生成手法を開発した。この手法は、多軸アームに限

定されるものではなく、原子炉内を遊泳移動して点検を自動的に行うロボットの移動経路の生成にも適用可能である。

本稿で紹介した自動動作生成手法により原子炉内作業における装置の動作設計にかかる時間を短縮し、工期短縮にも寄与できると考えている。

参考文献

- [1] 笠井茂、松崎謙司 “汎用多軸アームと動作経路の自動生成手法”、東芝レビュー、Vol.64 No.1、2009、pp.56-59
- [2] O.Khatib, “Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots”, International Journal of Robotics Research, vol.5 No.1, 1986, pp.90-98

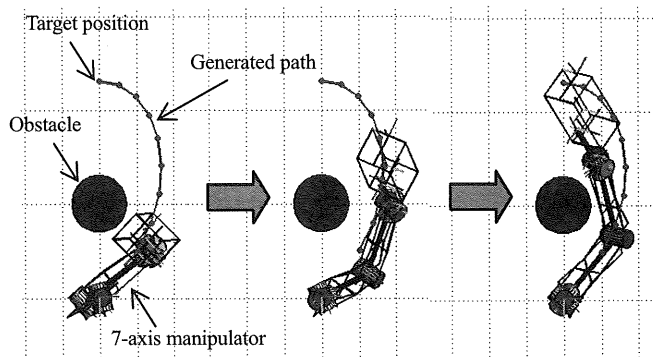


Fig. 6 Result of collision avoidance simulation

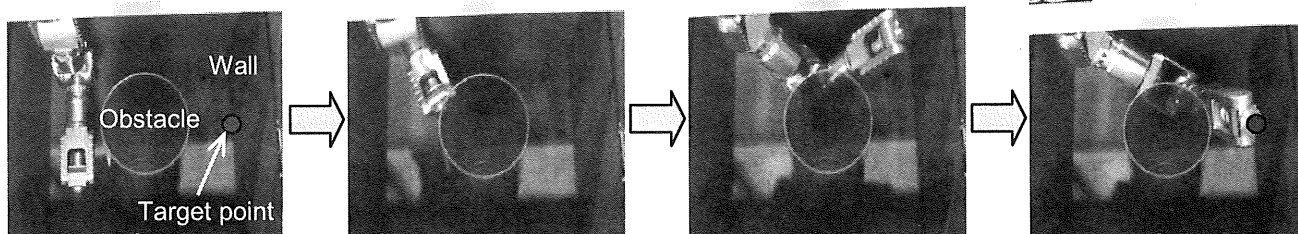


Fig. 7 Result of collision avoidance experiment