

# 人間型ロボットによる能動的な稼動範囲の獲得と動作計画

原田 篤<sup>†</sup> 矢野 翔<sup>‡</sup> 鈴木 健嗣<sup>†</sup>

<sup>†</sup>筑波大学大学院システム情報工学研究科

<sup>‡</sup>筑波大学理工学群工学システム学類

## 1 はじめに

人間型ロボットの腕部や多自由度マニピュレータはその冗長性のために自己衝突や外部環境との衝突を起こすという問題がある。これらの衝突はロボットの故障を招く可能性があり、作業の安全確保のために衝突を回避する動作を生成するのが一般的である。自己衝突を回避する手法として対象システムをモデル化し、シミュレーション上で自己衝突検出・回避を行う手法がある [1][2]。しかし、これらの手法により自己衝突の回避は可能であるが、外部環境への衝突回避のためには別の手法が必要となる。これは例えば、視覚センサなどを用いて環境のモデルを能動的に作成し、それに基づき動作計画を行い衝突回避をするという手法が見られる。しかし、一般的にこのような手法は正確なキャリブレーションを必要とし、さらに正確なモデルの作成も困難であるという問題がある。

本研究では、7 自由度からなる人間型ロボットの腕部を制御対象として、自身の稼動範囲を能動的に獲得するとともに、外部環境のモデルを用いず環境の変化に対応した動作を生成することを目的とする。これは、人間の自己保存の機能である痛みから着想を得て、関節駆動部の保護を行うように動作させるものである。

筆者らは、駆動時に流れるモータ電流を観測し、予め定めた判別式を用いることでモータへの過負荷を検出する手法を提案している。この結果、ロボットは自身への衝突や外部環境との衝突によって起こるモータへの過負荷を内界センサにて検出することで、自身の稼動範囲を能動的に獲得することが出来ることを示した [3]。この衝突によって生じるモータへの過負荷は、関節駆動部に生じる痛みと位置づけられる。

本稿では、腕部の各関節角度の履歴を蓄積することで、関節空間上に稼動角マップを作成し、それに基づき動作計画を行う手法について報告する。これにより、制御対象を動作させ、マップの更新を繰り返すことで最終的に衝突の発生しない動作が生成出来ることを示す。

## 2 提案手法

ロボットの動作中に異常な接触を検出した場合、図 1 の ⊗ で示したように、その時点のロボット腕部の姿勢を関節空間上に履歴として記録する。この図では、3

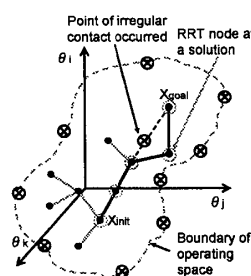


図 1: 稼動角マップ

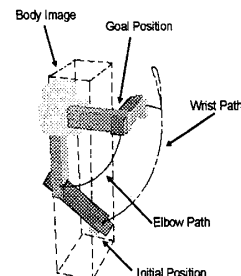


図 2: MSL と RRTs による経路計画の例

次元として例を示しているが、実際には、ロボット腕部と同じ自由度、つまり 7 次元の空間上の点として示される。この異常な接触の発生座標の近傍を避けるように経路計画を行う。つまり、実験を繰り返し有意なデータが蓄積されることで、図中の破線のように関節空間上で稼動可能な領域を獲得することが出来る。

本研究では、ランダム探索の手法である RRTs [4] により経路生成が可能な環境を提供する MSL [5] を用いる。MSL はポリゴンで作られる制御対象の 3 次元モデル及び初期姿勢と目標姿勢を与えることにより、関節空間上における初期姿勢と目標姿勢の点からお互いに向かって枝を伸ばすように経路を探索する。図 1 における  $X_{init}$  が初期姿勢を、 $X_{goal}$  が目標姿勢の座標点を示しており、黒の実線が生成される経路である。また、黒い実線上に示された各点が解として与えられるノードである。この各ノードにおける関節角度を 1 秒毎に制御対象に与えることにより、制御対象を動作させる。但し、本稿ではこのノード間の平滑化は行っていない。

図 2 に MSL に与える腕部のモデルと MSL によって生成された経路の例を示す。ここでは、腕部のモデルの正確さが重要でないため、非常に単純なモデルを用いている。図 2 の破線で作られた直方体の部分は、モデル上では存在しないが、実際のロボットでは胴体部にあたる。各関節に付された実線・一点鎖線の経路は、胴体部との自己衝突が生じると想定される代表的な腕部の姿勢を与えて計算した結果である。このように、異常な接触の発生座標を利用して稼動範囲のマップを生成し、経路計画を行うことにより、胴体部を避けるような経路を生成することが出来る。

Active acquisition of operating ranges and motion planning for a humanoid robot

Atsushi Harada<sup>†</sup>, Sho Yano<sup>‡</sup> and Kenji Suzuki<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

<sup>‡</sup>College of Engineering Systems, University of Tsukuba

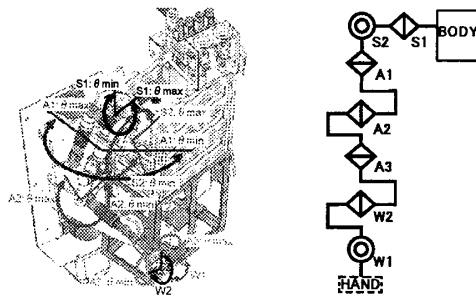


図 3: 制御対象

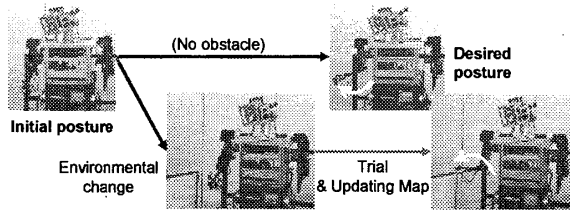


図 4: 環境の変化への適応

### 3 システム構成

図 3 は制御対象とした人間型ロボットの腕部とその自由度を示している。腕部は 7 自由度あり、その稼動方向は図中の矢印にて示してある。S1, S2, A3 はモータによる直接駆動, A1, A2 はベルト駆動, W1, W2 はベベルギア, ウォームギアを介して駆動する。また、全ての駆動部にはハーモニックドライブギアを用いている。各モータに流れる電流はモータドライバに内蔵された電流センサにて計測する。制御システムはサーバ・クライアント方式を採用しており、サーバ側にてロボットの駆動、センサの計測、異常な接触の検出を行う。クライアント側はサーバ側から得た情報に基づき、経路計画・動作計画を行い、各モータへの角度指令をサーバに送信する。

### 4 実験

図 4 の左上方に示す初期姿勢と右上方に示す目標姿勢における各関節の角度を MSL に与える。この時、初期姿勢と目標姿勢を繋ぐ最短経路上に障害物がなければ、図中の右上方の写真中の矢印で示すような、初期姿勢から目標姿勢に対し直線的な動作をすることが可能である。しかし、図中の左下方のようにその経路上に障害物を挿入した場合、それを回避するように動作する必要がある。そこで本実験では、提案手法により、外部環境のモデルを用いずに障害物を回避する経路の探索が可能であるかについて検証する。

最初に、障害物がない状態にて経路計画を行い、制御対象である腕部を動作させた。経路計画を行う際に MSL に与える情報は初期姿勢と目標姿勢の関節角度と簡単な腕部のモデルのみとなっているので、初期状態においては、自己衝突を行うような経路が頻繁に生成された。しかし、自己衝突や外部環境との接触があった場合、提案手法により異常な接触が検出され、自動的に初期姿勢に戻るようになっているため、関節駆動

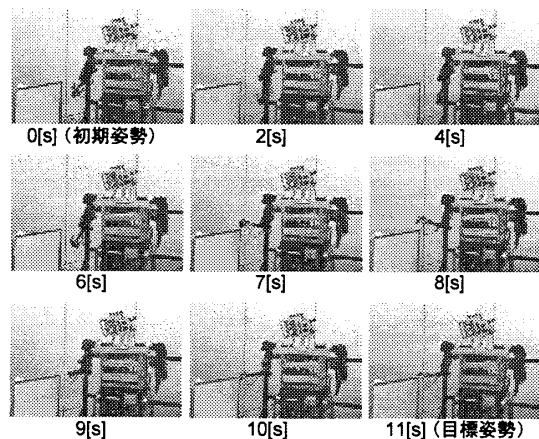


図 5: 衝突回避動作

部への過大な負荷は回避出来る。さらに、数十回程度の試行を繰り返す内に、図 1 のような関節空間上の稼動角マップが更新されていき、自己衝突を行うような経路が生成される確率が減少した。

次に、図 4 に示す通り、初期姿勢と目標姿勢の最短経路上に障害物を挿入し、実験を行った。この状態において、初期の経路探索では障害物への衝突が起きるが、20 回程度試行を繰り返すことで図 1 のような関節空間上の稼動角マップが更新されていき、最終的には図 5 のような障害物を回避する動作が得られた。

### 5 まとめ

関節部モータにおける過負荷の検出に基づき、異常な接触が発生した時点の関節角度の履歴から、その近傍を避けるように動作計画を行うことで、駆動部の保護を行うとともに衝突を回避する動作を生成することが出来た。しかし、経路探索に用いた RRTs は関節空間上において経路をランダム探索するため、その結果得られた経路が 3 次元空間上で最短であるとは限らないという課題がある。また、腕部の冗長性から 3 次元空間上で手先位置が同じでも関節空間上では違う座標点になる場合などがあり、経路探索の効率が必ずしも良くなかった。今後は、3 次元空間上での最短経路の探索を考慮するとともに、自身の持つ視覚センサからの信号と組み合わせることで、少ない試行回数で環境の変化に対応する動作の生成を目指す。

### 参考文献

- [1] J.J. Kuffner et al., "Self-collision detection and prevention for humanoid robots," IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, pp.2265-2270, 2002.
- [2] F. Seto et al., "Self-collision Avoidance Motion Control for Human Robot Cooperation System Based on RoBE," IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.50-55, 2005.
- [3] A. Harada et al., "Active acquisition of operating ranges and path planning for a humanoid robot," IEEE Intl. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp.739-744, 2007.
- [4] S. M. LaValle et al., "Rapidly-exploring random trees: Progress and prospects," Algorithmic and Computational Robotics: New Directions, pp.293-308, 2001.
- [5] S. M. LaValle, "Motion Strategy Library," <http://msl.cs.uiuc.edu/msl/>.