

要 旨

ロボットアームの軌道生成において、リンク間の相対的な位置関係のみに着目し、目標の直線軌道にできるだけ追従する経路の探索方法を考える。軌道指定の順序に依存し、その長さの変化にも対応できるようにするため、リンクの位置を表現する関節角度を遺伝子型とする遺伝的アルゴリズムの適用を試みる。

1. 緒 言

生産システムの性能向上を図るためには、使用する機械効率を改善すると共に、その制御に対して適応的な最適技法を用いる必要がある。この目的のために従来より多くの最適技法が提案されてきたが、それらはシステムの状態空間に関して十分正確なモデルが存在し、その状態空間があまり大きくない場合に対して適用されていた。しかし、ロボットシステムのように冗長性を有するような環境に直接適用することは難しいため、それらを改善する一手法として遺伝的アルゴリズム（以下GA）が提案されている¹⁾²⁾。ロボットアームの軌道生成に、最短期間を目的としてこのGAを用いた例がある³⁾。

本稿では、リンク間の相対的な位置関係のみに着目し、目標の直線軌道にできるだけ追従する経路探索を目的とする。GAの導入により、アームの動きが滑らかになるような軌道生成に対して、指定の順序に依存し、その長さの変化にも対応できる方式を考える。

2. ロボットアーム軌道計画

ロボットアームは、エンドエフェクタの運動によって1つのタスクを実行することになり、そのモデルを図1に示す。1つのアーム姿勢は、リンクの位置、すなわちその関節角度の集合 θ によって定義されるので、これよりエンドエフェクタの位置 p は関数 F を用いて次式で表現され、一意に決定される。

$$P = F(\theta) \tag{1}$$

エンドエフェクタの軌道は、始点と終点の間で連続した空間上の点を計算することによって生成される。コントローラはこれら離散的な中間点の間でアームを動かす必要があり、経路追跡プログラムの最適化は、中間位置の最適な組み合わせと数を同定することになる。ここでは簡単のため、図1に示すように垂直平面を固定し、点A、Bをそれぞれ始点、終点として、エンドエフェクタがこれらを結ぶ直線を追跡することを目的とする。しかし、アームに冗長構造を持たせているため、同一のエンドエフェクタの位置に対しても多くのアーム姿勢が存在することになり、生成される軌道はそれぞれ全く異なる性質を持つことになる。これらが、軌道計画の問題を複雑化しており、一般には拘束条件を与えて逆変換問題を解くことなどが必要となる。

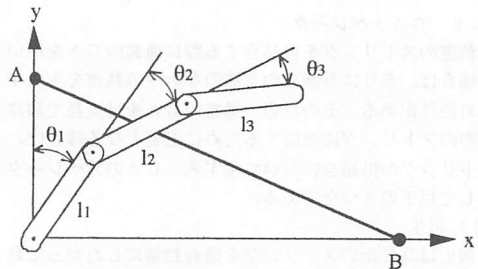


Fig.1 Robot arm model

3. ロボットアーム軌道生成へのGAの適用

GAは、生物の進化の過程を最適化に応用した探索アルゴリズムである。その特徴として、多数の遺伝子集団を基に探索するので探索領域が広くとれること、また、確率要素を用いて局所解からの脱出手段を有することなどがあげられる。通常扱われているGAでは、遺伝子がビットごとに意味づけられた2進表現の場合が多く、また、その遺伝子の長さは固定として変化することはない。しかし、ロボットアームの軌道においては、その自然の表現は可変ストリングの操作を必要とするため、従来のモデルを直接使用することはできず、新しいGAモデルが必要となる。

3.1 問題表現

軌道表現に対する機能単位の基本ストリングとして、ここでは1つのアーム姿勢を定義するリンク位置、すなわち関節角度の集合を用いる。1つの軌道は、対応しているアーム姿勢によって定義される一続きのエンドエフェクタの位置で表現される。完全なストリングが図2であり、 θ_{ij} はi番目のアーム姿勢のj番目のリンクを示す。1つの3項組が1つのアーム姿勢、n個のアーム姿勢が1つの軌道をそれぞれ表現し、アームの構造上軌道毎にnの値が異なる可変長ストリングとなる。

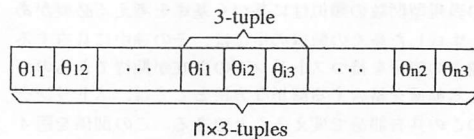


Fig.2 String structure of a trajectory

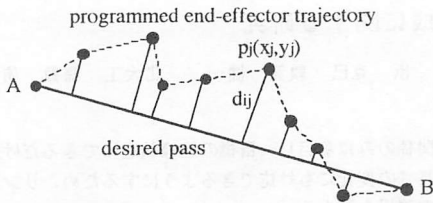


Fig. 3 Error from the desired pass

3.2 GAオペレータ

軌道のストリングを再結合する際に通常のGAを用いる場合は、余りにも多くの意味のない子の軌道を生成する可能性がある。そのため、通常のGAを可変長で順序依存のストリングに適応するために必要となる修正は、ストリングの再結合において生ずる、GAのオペレータとして以下の3つを考える。

(1) 再生

再生は高性能のストリングを適合性値にしたがって評価し、存続ストリングを決定する手続きである。ここでは、目標の直線軌道にできるだけ追従する経路の探索が目的なので、評価関数は図3に示すように目標経路からの累積誤差を最小にすることができ、適合性値を以下のような誤差の2乗和の逆数で与える。

$$S_j = h \frac{1}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^2} \quad (2)$$

ここで、 h は係数であり、 A, B 間の直線を $ax+by+c=0$ とすると、 d_{ij} は次のように表現される。

$$d_{ij} = \frac{|ax_j + by_j + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

これより、当該ストリングの生存確率を用いた最終的な存続ストリング数は、集団規模を M とすると次のように与えられる。

$$R_i = \frac{S_j}{\sum_{j=1}^M S_j} \quad (3)$$

(2) 交叉

通常のGAでは、2つの親ストリングで交叉位置は同一であるが、これをそのまま可変長で順序依存のストリングに適用しても、ストリングにおけるパラメータの位置と表現型関数の結果の相関が弱く、ほとんどよい効果は得られない。また、選択した経路途中の位置が完全に一致することはまれであるため、交叉位置でのパラメータの表現型関数の類似性に基づく基準を考える必要がある。生成した多くの軌道の中には、その途中に共有する一続きの部分を持つストリングの存在が期待できるので、異なる軌道を結合する簡単な方法としては、ストリング中のこの共有部分で変えることである。この関係を図4に示す。冗長アームの場合は、離散的なエンドエフェクタの位置が類似していても、軌道途中に不要な部分が存

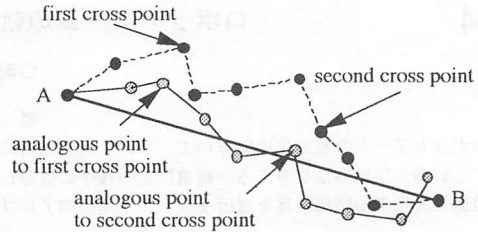


Fig. 4 Analogous cross points

在する可能性がある。そこで、交叉位置の間の累積誤差が小さい系列を集めて新しい遺伝子を生成することにする。また、ストリングの結合によって隣接する2地点間のアーム姿勢が大きく変化する場合が考えられる。ここではアームの動きが滑らかな軌道を考えているので、各関節角度の変化量がある値以内になるような交叉を行う。このように、交叉は1つのアーム姿勢を機能単位として行うことになり、以上の手順を以下に述べる。

- 1) 2つの親ストリングを選択する。
- 2) 1つのストリングにおいて交叉位置に相当する1つのアーム姿勢(3項組)をランダムに選択する。
- 3) 最初のストリングで選択したアーム姿勢に最も類似のアーム姿勢を見つけるために、2番目のストリングを先頭から探索し、累積誤差を評価する。
- 4) 2番目の交叉位置に対して、2), 3)を繰り返す。
- 5) 新しい子のストリングを得るために、2つの親からサブストリングをコピーする。

(3) 突然変異

再結合操作は、ストリングの多様性の損失を通じて重要なスキーマを失う危険性を伴う。ここで用いた可変表現では、アーム姿勢の数における損失が相当する。そこで、このような可変ストリング長の環境における突然変異では、ストリングの長さにランダムな変化を与えることが必要となる。特に交叉のための位置を増加させる目的から、アーム姿勢を増やすことが重要となる。

4. 結言

リンク間の相対的な位置関係のみに着目し、目標の直線軌道にできるだけ追従する経路の探索を目的として、ロボットアームの滑らかな動きに基づく軌道生成を実現するために、GAを用いる一手法を示した。

[参考文献]

- 1) L. Davis: HANDBOOK OF GENETIC ALGORITHMS, Van Nostrand Reinhold, 1991
- 2) 平野: 積木問題を遺伝的アルゴリズムで解く, インターフェース, No. 177, pp. 108, 1992
- 2) 後藤, 鈴木: 遺伝的アルゴリズムを用いたロボットの最短時間経路の生成, 1992年度精密工学会春季大会講演論文集, 第1分冊, pp. 177, 1992