

ロボットナビゲーション問題における シミュレーテッドアニーリングプログラミングの有効性の検討

The Effectiveness of Simulated Annealing Programming for Robot Navigation Problems

三木 光範[†] 西村 悟[‡] 廣安 知之[†]
Mitsunori MIKI Satoru NISHIMURA Tomoyuki HIROYASU

1. はじめに

近年、ロボットの行動を制御するプログラムを自動生成するために遺伝的プログラミング (Genetic Programming: GP)[1] を用いた研究が数多く行われている。GP を用いることによって、環境を学習し人手では生成困難な複雑なプログラムを生成できる。GP はプログラムを木構造で表現し、その木構造に対して選択、交叉、突然変異という遺伝的操作を行うことにより良好なプログラムを得る。

しかし、GP は探索過程で木構造のサイズが過度に増大するプロットという問題が生じる。プロットが生じる原因の一つは交叉であることが報告されている [2]。

この問題を解決するために、著者らは交叉を用いない最適化手法であるシミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing: SA) を拡張した手法であるシミュレーテッドアニーリングプログラミング (Simulated Annealing Programming: SAP) を提案している [3]。これまでに行われてきた SAP の研究において、SAP はプロットを起こさず GP と同等の性能を得られることが分かっている [3, 4]。しかし、SAP でこれまで対象としてきた問題は比較的小規模なベンチマーク問題のみであり、大規模問題においては GP の交叉によって得られる部分解の組み合わせが有効に働き、SAP は GP と同等の性能を得られないことが予想される。そこで、SAP がどの程度のノード数の問題にまで対応できるかを明らかにするため、これまでの対象問題よりも規模の大きな問題において SAP の性能検証を行う必要がある。

本研究では、その様な問題としてロボットナビゲーション問題を用い、SAP と GP の性能比較を行う。

2. シミュレーテッドアニーリングプログラミング

シミュレーテッドアニーリングプログラミング (SAP) は、金属の焼きなましを模倣した最適化手法である SA を木構造が扱えるように拡張した手法である [3]。SAP は、1つの木構造の部分木をランダムに生成した部分木と入れ替えることで次状態を生成する (図 1)。そして、次状態が改良方向へ生成された場合は無条件で推移し、改悪方向へ生成された場合にも温度パラメータにより確率的にその推移を認めるメカニズムを持つ。これにより、局所解をもつ問題に対しても局所解に陥ることなく最適な木構造を生成することができる。なお、本研究での SAP の温度スケジュールは、クーリングを用いない一定温度のみの温度スケジュールを用いている。その理

由は、これまでの SA の研究において、一定温度での探索によって良好な解が得られる温度領域が存在することが報告されており [5]、予備実験においても一定温度のみの温度スケジュールの方が良好な解が得られたためである。

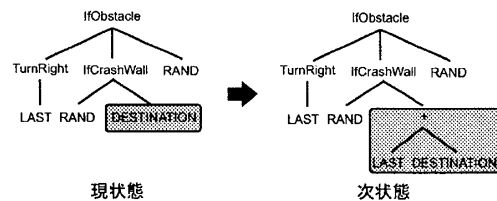


図 1: 次状態の生成方法

3. ロボットナビゲーション問題

ロボットナビゲーション問題は伊庭のナビゲーション問題 [2] に変更を加えたものである。この問題は、障害物のあるフィールド上に配置された複数のエージェントをそれぞれ決められた目的地に移動させる問題である。SAP(GP) によって最適化を行う木構造は、2次元ベクトルである終端記号と条件分岐およびベクトルの変換を行う非終端記号から成る。そしてその木構造を実行することで1つの移動ベクトルを得る。各エージェントは得られた移動ベクトルに従って行動する。設定した環境は以下の通りである。

● フィールド

100 × 100 の2次元連続値座標の6つのフィールドを用いる (図 2)。各エージェントの初期位置は図 2 に示す位置で固定とする。各エージェントの目的地は図 2 において矢印で結ばれたエージェントの初期位置である。したがって、矢印で結ばれた各エージェントの位置がすべて入れ替われば目的達成となる。

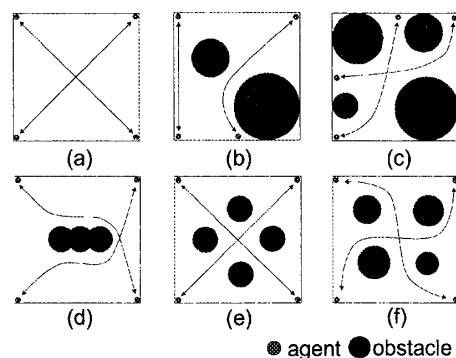


図 2: ロボットナビゲーション問題のフィールド

[†]同志社大学 工学部

[‡]同志社大学大学院 工学研究科

- エージェント
半径 10 の視界を持ち、視界内の他エージェントおよび障害物を検知することができる。また、目的地の相対座標は常に得ることができる。
- 行動規則
全エージェントが共通の木構造に従って移動する。
- 移動終了条件
最大移動ステップ数以内に 4 つすべてのエージェントが目的地に辿りついたとき、もしくは、最大移動ステップに達したときとする。前者をタスク完了と呼ぶ。また、最大移動ステップ数は全フィールドとも 50 ステップとする。

ロボットナビゲーション問題に用いる終端記号を表 1 に、非終端記号を表 2 示す。

表 1: 終端記号

記号	機能
DESTINATION	自分の目的地に向かうベクトル
NEAREST_AGENT	視界内の最も近いエージェントに向かうベクトル
RAND	乱数で発生させる定数ベクトル
LAST	前回出力したベクトル

表 2: 非終端記号

記号	引数	機能
*2	1	2 倍
/2	1	1/2 倍
turn_right	1	時計回りに 45 度回転
turn_left	1	反時計回りに 45 度回転
inv	1	反転
+	2	和
-	2	差
if_crash_wall	2	前回壁に衝突したか
if_crash_agent	2	前回エージェントと衝突したか
if_obstacle	3	障害物かエージェントがいるか
if_dot	4	引数 1 と引数 2 の内積が正か
if_lte	4	引数 1 が引数 2 より大きい
if_right	5	引数 1 が引数 2 より右を向いているか同じか

評価には各フィールドにおける評価値の平均を用いる。各フィールドにおける評価値 E は式 (1) を用いる。ここで、 n はエージェント数である。タスク完了時はより少ないステップ数のとき、失敗時は目的地までの距離が小さいときに良い評価となる。

$$E = \begin{cases} 100 - 3 * (\text{残りステップ数}) & \text{if タスク完了} \\ 300 + \sum_{i=1}^n (\text{目的地との距離}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

式 (1) より、ロボットナビゲーション問題は、評価値 E の最小化問題であり、評価値 E が 100 以下のときにタスク完了となる。

4. 数値実験

対象問題において SAP と GP の比較実験を行った。比較項目は評価値とノード数、ロバスト性である。ここでいうロバスト性とは、学習環境と異なる環境においても良好な性能が得られるかということであり、本実験では図 2 の各フィールド毎にエージェントの初期位置をラン

ダムに変更した 100 フィールド (計 600 フィールド) に対してプログラムを適用し、得られた評価値の平均によりロバスト性の検討を行った。SAP と GP の評価値の履歴と探索過程のノード数の履歴を図 3 に示す。また、初期位置をランダムに変更したときの評価値の平均の履歴を図 4 に示す。結果はそれぞれ 30 試行の中央値である。GP におけるパラメータは伊庭の値 [2] を参考にした値を、SAP のパラメータは予備実験より求めたパラメータを用いた。SAP は一定温度 16 を用い、GP は個体数 500、トーナメントサイズ 6、交叉率 0.6、突然変異率 0.3、最大の深さ 15 を用いた。

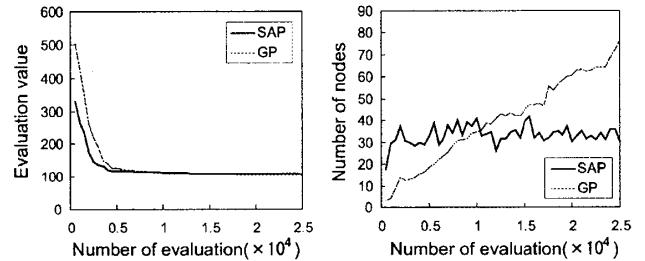


図 3: SAP と GP の比較結果 (左:評価値, 右:ノード数)

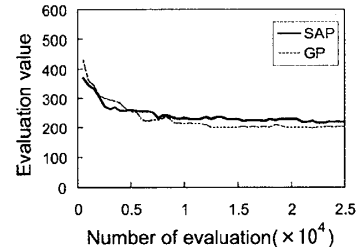


図 4: 初期位置をランダムに変更したときの評価値

図 3 より、SAP はプロットを起こさず GP と同等の性能を得られたことが分かった。また、図 4 より、SAP は GP とほぼ同等のロバスト性があるプログラムを生成できたことが分かった。

5. まとめ

本研究では、ロボットナビゲーション問題を用いて SAP と GP の比較を行った。数値実験の結果、SAP は GP とほぼ同等の性能が得られ、かつプロットを起こさずに探索を行えることが確認できた。また、一般にノード数が少ないとロバスト性が低いと考えられるが、エージェントの初期位置をランダムに変更しても SAP と GP で得られたプログラムの評価値の差は僅かであったため、この問題においては、ノード数の少ない SAP によって得られたプログラムは GP で得られたプログラムとほぼ同等のロバスト性を持つことが分かった。

参考文献

- [1] J.Koza. Genetic Programming, On the Programming of Computers by means of Natural Selection. MIT Press, 1992.
- [2] 伊庭 齊志. 遺伝的プログラミング入門. 東京大学出版会, 2001.
- [3] 三木 光範, 廣安 知之, 藤田 佳久. シミュレーテッドアニーリングプログラミングによる群知能の発現. 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.67th, No.2, pp.299-300, 2005.
- [4] 藤田 佳久, 三木 光範, 廣安 知之. シミュレーテッドアニーリングプログラミングによるロボット行動の自動獲得-遺伝的プログラミングとの性能比較-. 情報科学技術フォーラム, Vol.FIT 2005, 一般講演論文集 第 1 分冊, pp.93-94.
- [5] Connolly, D.T. An improved scheme for the QAP. European Journal of Operational Research, Vol.46th, pp.93-100, 1990.