

シミュレーテッドアニーリングプログラミングのロボットアームへの適用

田辺 竜也

1 はじめに

ロボットの行動を制御するプログラムなどを、計算機を用いて自動設計する自動プログラミングの研究分野が注目されている。これは、あらかじめ人が想定できない状況にも対応できるプログラムを設計できることや、複数台のロボットが協調行動するような複雑なプログラムを容易に設計することができるからである。この自動プログラミングの手法として、我々の研究室では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)¹⁾ の研究を行っている。SAP はシミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing: SA) を用いたプログラム探索方法であり、先行研究において、ベンチマーク問題における有効性が既に示されている¹⁾。しかし、実環境での研究は十分に行われていない。そこで、実環境を対象とした問題として、アーム型ロボットを用いた荷物運び問題を扱い、実環境における SAP の有効性について検討する。本稿では、シミュレータを用いて生成した木構造の動作確認を行った。

2 シミュレーテッドアニーリングプログラミング (SAP)

SAP は、金属の焼き鈍しを模倣したメタヒューリスティック手法である SA を木構造が扱えるように拡張したプログラム探索手法である。以下に SAP のアルゴリズムを示す。

STEP 1 初期解候補の生成

初期解をランダムに生成し、その評価を行う。

STEP 2 生成処理

現在の解である木構造からランダムにノードを選択し、選択されたノードを根とする部分木を削除する。削除した部分に、ランダムに生成した部分木を挿入することにより、次候補解を生成する。Fig. 1 に生成処理の操作を示す。

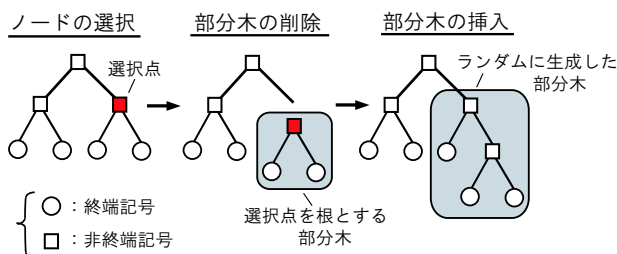


Fig.1 生成処理

STEP 3 受理判定, 状態遷移

現在の解の評価値 E と次候補解の評価値 E' との差分 $\Delta E (= E' - E)$, および温度パラメータ T を基に、次の候補解に遷移するか否かの判定 (受理判定) を行う。受理判定には、式 (1) に示す Metropolis 基準を用いる。

$$P_{AC} = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta E \leq 0 \\ \exp(-\frac{\Delta E}{T}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 P_{AC} は受理確率であり、次の候補解が解良方向へ生成された場合は無条件で受理され、改悪方向へ生成された場合でも確率的に受理される。改悪方向への受理確率は、改悪幅 ΔE が小さいほど高く、また、温度パラメータ T が大きいほど高いという特徴を持つ。

なお、STEP2, 3 の操作をアニーリングと呼ぶ。

STEP 4 クーリング

アニーリングを所定の回数繰り返したならば、温度パラメータ T を小さくするクーリングを行う。クーリング後の温度 T_{k+1} は、式 (2) により決定する。

$$T_{k+1} = \gamma T_k \quad (0.8 \leq \gamma < 1) \quad (2)$$

ここで、 γ は冷却率であり、 T_k は現在の温度である。クーリングを行うことにより、改悪方向への遷移確率が低くなる。

STEP 5 終了判定

STEP2~4 を定められた回数行えば、探索を終了する。そうでなければ、STEP2~4 を繰り返す。

3 対象問題

本研究では、SAP における対象問題として、1 台のアーム型ロボットによる荷物運び問題を扱う。荷物運び問題とは、アーム型ロボットによりフィールド上に設置された荷物を限られたエネルギー内で目的地まで運ぶことを目的とする問題である。この問題の設定を以下に示す。

● ロボット

実験に使用するロボットは、2 関節のアーム型ロボットである。各関節はサーボモータによって制御されており、位置情報を角度で与えることができる。また、アームの先端には光センサが取り付けられており、光や色を読み取ることができる。これにより、アームの現在地での荷物の有無を判定できる。なお、フィールド円上の位置は、フィールド円上の点 A, 原点 O, X 軸からなる角度 $\theta = \angle AOX$ で表し、アームの初期位置はの $\theta = 0^\circ$ ($0 \leq \theta < 360$) の位置とする。

● フィールド

Fig. 2 にフィールドの様子を示す。Fig. 2 に示すように、フィールドは XY 平面上の原点 (0, 0) を中

心とし、ロボットのアームの長さを半径とする円周である。この円周上のみがアーム型ロボットによって影響を及ぼせる範囲であるため、アーム型ロボットが運ぶ荷物と、荷物が運ばれる目的地は、この円周上に設置しなければならない。なお、荷物の位置は $\theta = 120^\circ$ 、目的地の位置は $\theta = 260^\circ$ の位置とする。

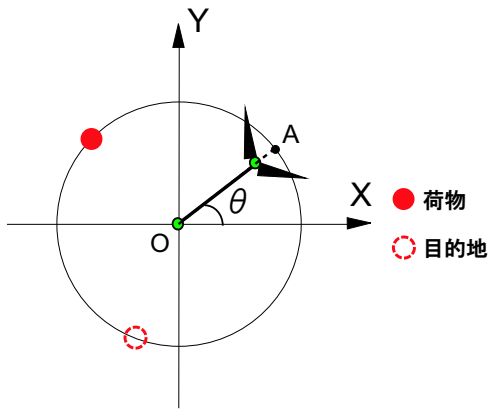


Fig.2 フィールドの様子 (出典：自作)

● エネルギー

アーム型ロボットの初期エネルギーを 100 とし、終端記号を 1 つ実行するごとにエネルギーを 1 消費する。初期エネルギーは、アーム型ロボットがタスクを実行するのに十分なエネルギーを設定したものである。荷物運び問題に用いた終端記号を Table 1 に、非終端記号を Table 2 に示す。

Table1 終端記号 (出典：自作)

終端記号	機能
RIGHT	5° 時計回り.
LEFT	5° 反時計回り.
CATCH	アームの手を閉じる.
RELEASE	アームの手を開く.

Table2 非終端記号 (出典：自作)

終端記号	機能
if baggage here	子ノードを 2 つ持つ。 現在のアームの位置に荷物があれば第 1 子ノードを、無ければ第 2 子ノードを実行する。
progn2	子ノードを 2 つ持つ。 第 1 子ノード、第 2 子ノードの順に実行する。
progn3	子ノードを 3 つ持つ。 第 1 子ノード、第 2 子ノード、第 3 子ノードの順に実行する。

● 評価方法

荷物運び問題の終了条件は、既定のエネルギー内にアーム型ロボットが荷物を目的地まで運べた時、もしくは、荷物を運ぶ前に既定のエネルギーに達したときとする。荷物を運ぶことができた場合をタスク完了、荷物を目的地までは運べなかったが、わずかにでも荷物を動かしたときをタスク失敗 1、荷物

を全く移動させずに終了した場合をタスク失敗 2 とする。荷物運び問題における木構造の評価値 E を式 (3) に示す評価関数を用いて求める。

$$E = \begin{cases} 100 - (\text{残りエネルギー}) & \text{タスク完了} \\ 200 + E' & \text{タスク失敗 1(3)} \\ 300 + E' & \text{タスク失敗 2} \end{cases}$$

ここで E' とは、タスク終了時のアーム型ロボットの位置をスタート地点として、そこから荷物を目的地に運ぶための必要最低限なエネルギーのことである。(3) より、荷物運び問題は、評価値 E の最小化問題であり、評価値 E が 100 以下ならばタスク完了、200~300 の値ならばタスク失敗 1、300 以上ならばタスク失敗 2 となる。

4 シミュレータを用いた実験

本実験で扱うアーム型ロボットの、木構造による動作を確認するため、Fig. 3 に示すシミュレータを作成した。

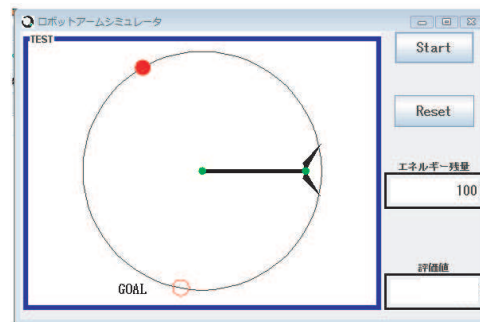


Fig.3 実行画面 (出典：自作)

このシミュレータは、START ボタンを押すことで画面左に描かれている実行画面内のアームが動作を開始する。シミュレータのアームが行動をするごとに、エネルギー値が 1 ずつ減っていき、タスクが終了した時点で評価値を表示するようになっている。また、Reset ボタンを押すことで初期画面に戻る。

5 まとめ

本研究では実環境を対象とした問題として、アーム型ロボットによる荷物運び問題を定義し、動作確認のためのシミュレータを作成した。そして、シミュレータを用いて、人が生成した木構造の動作の確認を行った。

今後の課題としては、荷物運び問題への SAP の適用し、得られた解からシミュレータと実機との性能比較を行うつもりである。

参考文献

1) 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を用いた自動プログラミング: 情報処理学会研究報告, Vol19, pp.89-92, 2007