

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 掃除ロボット用制御プログラムの自動生成

Automatic Generation of Control Programs for Cleaning Robots Using Simulated Annealing Programming

三木 光範*¹ 松井 勇樹*² 廣安 知之*³
Mitsunori MIKI Yuki MATSUI Tomoyuki HIROYASU

*¹同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

*²同志社大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

*³同志社大学 生命医科学部

Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

When precise movement is demanded of a robot, the control program must be optimized regarding not only program structure, but also the degree of movement. However, only the program structure was optimized with the conventional Simulated Annealing Programming(SAP). Therefore, we propose the method that optimized degree of movement as well using Simulated Annealing(SA). The control program generated by the proposed method for a cleaning robot performed well.

1. はじめに

近年、ロボットの行動を制御する行動規則などのプログラムをコンピュータによって自動生成する自動プログラミングが注目されている。これは、人間が予め想定できないような状況にも対応できるプログラムを人の手で作ることは容易でないためである。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)[藤田 2007]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) を木構造が扱えるように拡張した手法であり、先行研究においてベンチマーク問題における有効性が示されている [藤田 2007]。しかし、精密な動きを要求されるロボットのプログラムでは、プログラムの構造を最適化し、さらに動作の度合いを調整する必要がある。そこで本研究では、掃除ロボットの行動制御プログラムを取り上げ、SAP を用いてプログラムを自動生成する共に、動作の度合いの詳細な最適化をする手法について検討する。

2. シミュレーテッドアニーリングプログラミング (SAP)

SAP は木構造を解として扱う。アルゴリズムは SA と同様に、生成処理、受理判定、状態遷移、クーリングから成る。以下に詳細を示す。

1. 生成処理

図 1 に生成処理の様子を示す。図 1 のように現在の解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。次に削除した部分に、ランダムに生成した部分木を挿入し、次解候補を生成する。

2. 受理判定, 状態遷移

現在の解の評価値 E と次解候補の評価値 E' との差分 $\Delta E (= E' - E)$ 、及び温度パラメータ T を基に、次解候

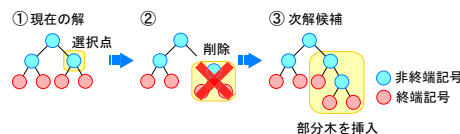


図 1 生成処理

補を受理するか否かの判定を行う。この判定には式 (1) に示す Metropolis 基準を用いる。

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

式 (1) の P_{AC} は受理確率であり、次解候補が改良方向へ生成された場合は無条件で受理し、改悪方向へ生成された場合でも確率的に受理する。

3. クーリング

上記で示した 1. と 2. の操作を繰り返し行うことをアニーリングと呼び、一定期間アニーリングを行った後、温度パラメータ T_k を小さくする。冷却後の温度 T_{k+1} は式 (2) に示す指数型アニーリングを用いて決定する。なお、 γ はクーリング率である。

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

3. 掃除問題

本研究では、行動規則の自動生成だけではなく、動作の度合いも変更可能な対象問題として掃除ロボットの行動規則を扱い、これを掃除問題と呼ぶ。掃除問題とは、1 台のロボットが限られた行動回数で、フィールド内を効率的に通り返しなく移動することを目的とする問題である。設定した環境は以下の通りである。

- フィールド
図 2 に示す 10×10 マスの 6 つのフィールドを用いる。
- ロボットの設定

ロボットは円形状の形をしており、目前の障害物の検知が可能とする。ロボットの初期位置は図 2 に示したように、各フィールドの左下し、向きは上向きとする。なお、フィールドの 1 マスの一辺の長さはロボットの直径とする。

連絡先: 松井 勇樹, 同志社大学大学院工学研究科,
京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924,
ymatsui@mikilab.doshisha.ac.jp

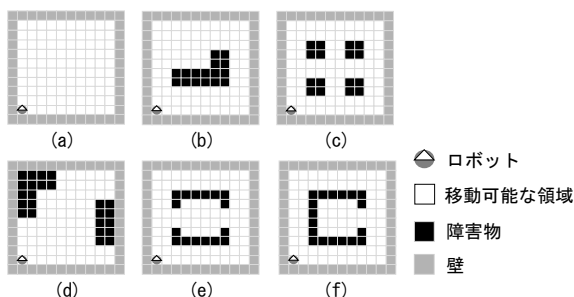


図2 フィールドの様子

- 行動規則
行動規則として、表 1、及び表 2 に示す非終端・終端記号を用いる。また、ロボットは (移動可能なマスの総数) × 3 回移動可能であり、終端記号を 1 つ実行するごとに行動回数を 1 消費するものとする。

表 1 非終端記号

終端記号	機能
if obstacle ahead	子ノードを 2 つ持つ。前方に障害物があれば第 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。
progn2r	子ノードを 2 つ持つ。第 1 子ノード、第 2 子ノードを 1:1 の確率でどちらかを実行する。

表 2 終端記号

終端記号	機能
RIGHT	45 度右を向く。
LEFT	45 度左を向く。
MOVE	ロボットのサイズ分前進する。前方に障害物があれば、その場で停止する。

- 評価方法
評価は移動可能な領域に対する通り残した領域の割合によって求めるものとする。したがって、評価値 E は、式 (3) に示す目的関数によって求める。なお、 S_e は移動可能な領域の面積を、 S_r はロボットが移動した面積をそれぞれ示す。

$$E = (1.0 - \frac{S_r}{S_e}) * 100 \quad (3)$$

4. 動作の度合いの最適化

終端記号などに用いられる動作の度合い (旋回角度、移動距離など) が変更可能な対象問題において、ノード毎に動作の度合いの調整をすることで、より問題に適したプログラムの獲得が期待できる。そこで、探索前半では SAP によりプログラムの構造の最適化を行い、探索後半では動作の度合いの調整を行う探索手法を提案する。動作の度合いの調整には SAP と同様の 1 点探索である SA を用いる。ここでの動作の度合いの調整を SA/c (Simulated Annealing/continuousness) と呼ぶ。以下に詳細を示す。

1 木構造の最適化

SAP を用いて、木構造の最適化を行う。評価計算回数が全探索回数の $R\%$ に達したとき探索を終了し、現在の解を探索で得られた最良解とする。

2 動作の度合いの最適化

1 の探索により得られた最良解である木構造を基に動作の度合いの最適化を行う。評価計算回数が全探索回数の $(100 - R)\%$ に達したとき探索を終了する。具体的な操作は、以下に示す。

2-1 生成処理

変更可能なパラメータをもつ全てのノードにおいて、パラメータをランダムに変更し、次解候補を生成する。

2-2 受理判定、状態遷移

得られた次解候補を評価し、Metropolis 基準 (式 (1)) を用いて受理判定、および状態遷移を行う。

5. 数値実験

本研究では、3 章で定義した掃除問題に対して、一般的な SAP および、4 章で提案した手法を適用し、比較実験を行った。温度スケジュールはクーリングを用いた。SAP の探索に用いたパラメータを表 3 に示す。なお、表 3 中の最高温度は最大改悪を 50% は認める温度、最低温度は 1 クーリング周期に最小改悪を 1 回は認める温度である。

また、提案手法において、SA によるパラメータ調整に切り替える割合 R は 75% (SAP の探索回数 24,000, SA/c の探索回数 8,000) とした。動作の度合いの調整範囲として、旋回角度 {RIGHT, LEFT} は 5~90 度、移動距離 {MOVE} はロボットの大きさの 0.5~2.0 倍の間とした。

表 3 温度パラメータ

パラメータ	値
total steps	32,000
cooling num	32
max temperature	144
min temperature	0.01

実験の結果を 30 試行分の最良値の平均値、最大値、最小値を図 3 に示す。なお、図 3 は縦軸が評価値、横軸が各フィールドを示し、評価は小さいほど良い値である。

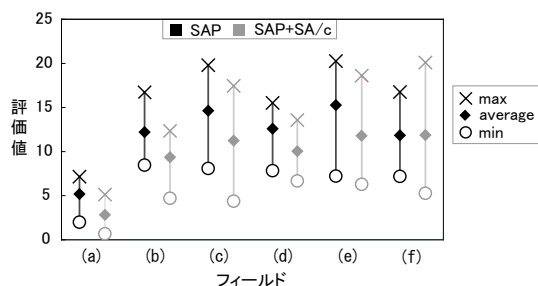


図 3 各フィールドにおける評価値の比較

図 3 から、SAP のみの探索より提案手法の方が平均値、最小値ともに良好な解を得たことがわかった。これにより、ロボットの行動などにおける構造の最適化だけでなく、動作の度合いも最適化することで、より問題に適した解の探索が望める。

6. まとめ

本研究では、掃除ロボットの行動制御プログラムを取り上げ、SAP を用いてプログラムを自動生成する共に、動作の度合いの詳細な最適化をする手法について検討をした。実験結果から、提案手法の方が良好な結果を得ることができた。今後の課題として、SA/c による動作の度合いの最適化を行うタイミングについて、検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

[藤田 2007] 藤田 佳久, 三木 光範, 橋本 雅文, 廣安 知之, シミュレーテッドアニーリングを用いた自動プログラミング, 情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用, Vol.48, No.SIG15(TOM18), pp.88-102, 2007