

## SAP によるプログラムの自動編成

— ロボットアームを用いた荷物運搬問題への適用 —

三木 光範<sup>†</sup> 廣安 知之<sup>††</sup> 田辺 竜也<sup>‡</sup><sup>†</sup>同志社大学理工学部 <sup>††</sup>同志社大学生命医科学部 <sup>‡</sup>同志社大学工学部学生

## 1 はじめに

ロボットの行動を制御するプログラムをコンピュータを用いて自動生成する場合がある。プログラムを自動生成する手法として著者ら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) を木構造が扱えるように拡張した手法であり、ベンチマーク問題における有効性が既に示されているが [1], 実環境を想定した研究は十分に行われていない。本研究では、実環境を想定した問題としてロボットアームを用いた荷物運搬問題を対象とした。本問題に SAP を適用し、SAP が実環境を想定したロボットの制御プログラムを自動生成できることを示す。

## 2 SAP

SAP のアルゴリズムの詳細を、以下に示す。

## STEP 1 初期解の生成

初期解をランダムに作成し、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。そして、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で、次候補を生成する。

## STEP 3 受理判定, 状態遷移

次候補の評価値  $E'$  と現在の解の評価値  $E$  との差分  $\Delta E (= E' - E)$ , および温度パラメータ  $T$  を基に、次候補への遷移を行うか否かの判定を行う。受理判定には、式 (1) に示す Metropolis 基準を用いる。

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

## STEP 4 クーリング

STEP 2 および 3 を一定数繰り返した後、温度パラメータ  $T$  を小さくするクーリングを行う。

## STEP 5 終了判定

STEP 2 から 4 を一定数行えば終了する。

## 3 対象問題

本研究では、ロボットアームを用いた荷物運搬問題を対象とする。本問題の目的は、ロボットアームが限られたエネルギー内で、フィールド上に設置された荷物を目的地まで運ぶことである。

## 3.1 フィールド

ロボットアームの行動可能範囲は半径  $r$  の円周上であり、1つのフィールドに対して1つの荷物と1つの目的地が存在する。なお、半径  $r$  はロボットアームの腕の長さとする。図1にフィールドの例を示す。

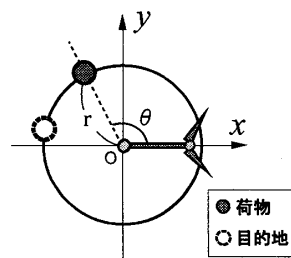


図 1: フィールドの例

また本問題では、荷物の初期位置が異なる 4 種類のフィールド (以降、フィールド群と呼ぶ) に対応できる 1 つのプログラムを生成する。なお、各フィールドにおける目的地は、 $\theta=175^\circ$  とする。

## 3.2 ロボットアーム

使用するロボットアームは 2 関節を持ち、現在地での荷物の有無を判断するセンサ、および現在地が目的地か否かを判断するセンサを持つ。また、稼動範囲は  $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$  とし、初期位置は  $\theta=0^\circ$  とする。

## 3.3 行動規則

行動規則として、表 1, 表 2 に示す終端記号, 非終端記号を用いる。

## 3.4 行動可能回数 (エネルギー)

ロボットアームの行動可能回数 (エネルギー) は 160 とする。このエネルギーは、ロボットの行動を表す終端記号およびセンサを表す非終端記号 (if baggage here および if at goal) を 1 つ実行する毎に 1 消費するものとする。

Automotic Programming with SAP – Application to the Load Carrying Problem Using a Robotic Arm –

<sup>†</sup> Mitsunori MIKI (mmiki@mail.doshisha.ac.jp)

<sup>††</sup> Tomoyuki HIROYASU (tomo@is.doshisha.ac.jp)

<sup>‡</sup> Tatsuya TANABE (ttanabe@mikilab.doshisha.ac.jp)

Faculty of Science and Engineering, Doshisha University (<sup>†</sup>)

Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University (<sup>††</sup>)

Undergraduate Student, Doshisha University (<sup>‡</sup>)

1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan

表 1: 終端記号

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.

表 2: 非終端記号

非終端記号	機能
if baggage here	引数を 2 つ持つ. 現在のアームの位置に荷物があれば第 1 引数を, 無ければ第 2 引数を実行する.
if at goal	引数を 2 つ持つ. 現在のアームの位置が目的地であれば第 1 引数を, 目的地でなければ第 2 引数を実行する.
progn2	引数を 2 つ持つ. 第 1 引数, 第 2 引数の順に実行する.
progn3	引数を 3 つ持つ. 第 1 引数, 第 2 引数, 第 3 引数の順に実行する.

表 3: 荷物の初期位置

フィールド群 A	フィールド群 B
45°	15°
135°	115°
225°	205°
315°	295°

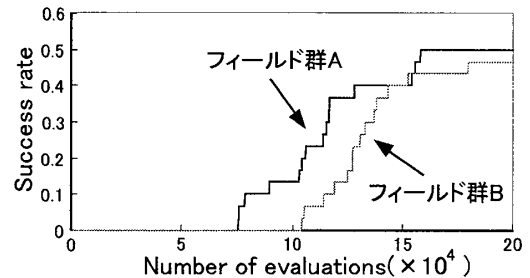


図 2: 各フィールド群における SAP の探索性能

### 3.5 評価方法

目的関数は, 式 (2) および式 (3) を用いる.

$$E_{sum} = \sum E_i \quad (2)$$

$$E_i = \begin{cases} 160 - R & (\text{タスク成功}) \\ 500 + P & (\text{タスク失敗 1}) \\ 600 + P & (\text{タスク失敗 2}) \end{cases} \quad (3)$$

式 (2) に示すように, 各フィールドにおける評価値  $E_i$  の合計  $E_{sum}$  を用いて評価を行う.

各フィールドにおける評価値  $E_i$  は, 式 (3) を用いて求める. 式 (3) では, ロボットが荷物を目的地まで運べた場合 (タスク成功), 荷物を動かしたが目的地まで運べなかった場合 (タスク失敗 1), 荷物を動かさなかった場合 (タスク失敗 2) の 3 種類に場合分けする. これにより, タスク成功時とタスク失敗時の評価に差が生じ, タスクの成功したフィールド数が多いほど  $E_{sum}$  の値が良好になる.

なお, 式 (3) 中の  $R$  はロボットアームの残りエネルギーを,  $P$  はタスク終了時点でのロボットアームと荷物の位置からタスクを成功させるのに最低限必要なエネルギーをそれぞれ示す.

## 4 数値実験

### 4.1 実験概要

本問題における SAP の探索性能を検討するため, 数値実験を行った. なお, 荷物の初期位置は表 3 の通りである. ここで, フィールド群 A ではロボットアームの初期位置と各荷物との間隔が 45° の倍数であるのに対し, フィールド群 B ではそのような特徴がない. またパラメータは, 最高温度 1000, 最低温度 0.1, 評価計算回数は 20 万回, クーリング率は 0.86 とした.

### 4.2 実験結果および考察

実験結果として, 30 試行における成功率の履歴を図 2 に示す. なお, 図 2 は横軸が評価計算回数, 縦軸が成功率を示す.

図 2 より, 20 万回の評価計算を終えた時点での成功率はほぼ等しく, 共に 50% 程度の性能を得ている.

しかし, それぞれの最適解の構造を比較すると, その特徴は異なった. フィールド群 A で得られた最適解の 1 つに注目すると, 1 度に 15° ずつ動いて荷物を探索するという部分木が解に含まれていた. これは, フィールド群 A におけるロボットアームの初期位置と各荷物との間隔が 45° (15° の倍数) であることを SAP の探索では発見できたことを示している. その結果, 無駄なセンサの使用を省くことでエネルギー消費が抑えられ, より効率のよいロボットアームの制御を実現したといえる. 一方, フィールド群 B にはそのような特徴がないため, 最適解にも特徴的な部分木は見られず, 5° 移動するごとに荷物の有無を判断していた.

以上より, 本問題において, 設定した条件が異なっても, SAP は一定の探索性能を維持でき, 問題の特徴を発見できることを確認した.

## 5 まとめ

本研究では, SAP の実環境を想定した問題における検討を行った. そのために, ロボットアームを用いた荷物運搬問題を提案し, SAP を適用した. その結果, SAP は提案した問題に対して良好な探索性能を示し, 問題の特徴を発見できることを示した.

## 参考文献

- [1] 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, Vo48, pp.88-102, 2007.