遺伝的アルゴリズムによる自律移動ロボット用プログラムの進化[†]

蜷 川 繁*

Evolution of Program for Autonomous Mobile Robot by Genetic Algorithms[†]

Shigeru NINAGAWA*

We investigated the evolution of a subsumption architecture for an autonomous mobile robot by genetic algorithms in the two types of environment. The robot could reach the goal within several generations on average in both environments.

Key Words: behavior-based AI, subsumption architecture, genetic algorithms, autonomous mobile robot

1. はじめに

自律移動ロボットを設計する際に、記号処理を中心とした従来の人工知能によるアプローチでは、特に環境のモデル化において深刻な問題に直面することから、近年、「行動に基づく (Behavior-based)」人工知能が注目を浴びている¹⁾。そのなかで代表的なアプローチとしてサブサンプションアーキテクチャ (Subsumption Architecture, SA)²⁾がある。

SAにおいては、個々のモジュールとそれらの優先順位を、ロボットが動作する環境に応じて設計する必要がある。しかし、環境の同定が困難である場合は、設計はきわめて困難になる。そこで、このような場合を想定して、環境への有効性は考慮せずに種々のモジュールを準備しておき、それらの順列を最適化する方法が考えられる。しかし、モジュール数が増えると順列の数は膨大になり、全数探索は困難になる。本研究では遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms, GA) を用いて、SAの構造を最適化する手法を提案し、その有効性を実機を用いて検証した。

2. 提案手法

あらかじめ60種類のモジュールを用意し、それらに1～60の番号をつける。モジュールを作成する時点ではロボットが動作する環境は未知としているので、環境における有用性は考慮していない。これらのモジュールから8個のモジュールの番号を優先順位が高い順に並べたものを遺伝子型として用いる。 $X_1X_2\cdots X_8$, ($X_i = 1 \sim 60$)という遺伝子型から Fig. 1 に示すプログラムが生成される。図中の丸付きのsは抑制ノードを表わし、抑制ノードの上と左から同時に動作指令が入力された場合、優先度の低い左からの指令を抑制し、優先度の高い上からの指令を通過させる。したがって、図中の X_1 がもっとも優先度が高く、 X_8 は優先度

Fig. 1 Structure of subsumption architecture generated from a chromosome $X_1X_2\cdots X_8$. The circle indicated by s means suppressor which suppresses a signal from the left line and transmits a signal from the upper line when two signals reach at the same time.

Fig. 2 Sketch of the robot used in the experiments. It is 95mm long, 100mm wide, and 90mm high.

がもっとも低い。こうして作られたプログラムをロボットに転送して、環境の中で動作させることで、各遺伝子型の適合度を求め、GA操作を行なう。

3. 実験

本研究で用いるロボットはLEGO社のMindstormsを使って製作した。Fig. 2に示すように、長さ×幅×高さは95mm×100mm×90mmである。左右に1個ずつ車輪をもち、前部左右には接触センサを1個ずつ、底面に光センサを1個備えている。ロボットのプログラムはNQCと呼ばれるC言語に似たプログラミング言語を用いている³⁾。

3.1 実験1

環境としては約910mm×1820mmの薄青色の発泡ポリスチレンフォームの平板を用いる。Fig. 3に示すようにに区

[†] 第15回自律分散システムシンポジウムで発表 (2003・1)

* 金沢工業大学情報系 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1

* Division of Information and Computer Science, Kanazawa Institute of Technology, Nonoichi, Ishikawa (Received June 9, 2004)

(Revised October 8, 2004)

Fig. 3 The environment of the experiment 1. Its size is 910 × 1820mm. The left rectangle is the start and the right semicircle is the goal. The gray circle represents a cylindrical obstacle.

画ごとに 0~100 の得点が決まっており、端部は約 50mm 幅で黒色に塗りつぶしてあるが、壁などはない。さらに図中の網掛けの丸は円筒形の障害物を表わしている。環境からはみ出た地点や障害物近辺の得点は低くなっている。対面した短い辺の中央にそれぞれスタートとゴールがある。ゴールエリアの大きさは半径 190mm の半円形とした。ロボットの中心がゴールエリアに入った時点でゴールしたとみなす。

本研究では、短時間でゴールに到達することを目的とするので、適合度 F は次式によって求めた。

$$F = (P + a - b \cdot t) / C \quad (1)$$

ここで P はスタートしてから 180 秒後に到達した地点の得点を表わす。ただし、それ以前にゴールに到達した場合は $P=100$ とする。 t はゴールに要した時間を表わし、ゴールに到達しない場合は $t = 180$ とする。 a, b は t への依存性を決める定数で、 $a = 21.8, b = 0.12$ である。 F は 0 から 1 の範囲になるように定数 $C = 122$ で正規化してある。各個体について 3 回の試行を行ない、その最大値を個体の適合度とする。

初期の遺伝子型はランダムに生成し、個体数は 50 とし、ルーレット選択、一様交叉を用い、交叉確率は 0.6、突然変異確率は 0.03 とした。上位 20 個体をエリートとして次世代に残した。ゴールに到達するロボットが出現するまで世代を進めた。このような試行を 5 回行なった。最初の世代を 0 世代とすると、ゴールに到達するロボットが現れた世代は 0~9 の範囲にわたり、平均は 2.6 世代となった。

Fig. 4 はある試行における世代ごとの適合度の平均値と最高値を示す。この場合、9 世代目でゴールに到達するロボットが現れた。

ゴールに到達したロボットの軌跡の例を **Fig. 5** に示す。図中の実線は、ゴールに到達したロボットの典型的な軌跡で、5 回中、4 回の試行で観測され、最初に出現した世代の平均は 2.6 世代だった。ゴールに到達するまで約 80 秒かった。このような軌跡をもつロボットの典型的なモジュール構成を優先度の高い順に示す。

Fig. 4 The fitness at every generation in a trial on the environment in Fig. 3. The solid line represents the average of the fitness and the dotted line represents the maximum of the fitness.

Fig. 5 Trajectories of the robots which reach the goal. The solid trajectory was observed in four trials and the dotted trajectory was observed in one trial.

- (1) 左右タッチセンサがともに ON ならば 0.5 秒間左に弧を描いて進む
 - (2) 右タッチセンサが ON ならば 0.5 秒間右に弧を描いて進む
 - (3) 光センサが黒色検知ならば 0.5 秒間左超信地旋回 (両モータを互いに逆回転させ、その場で左旋回) し、0.5 秒間前進
 - (4) 右タッチセンサが ON ならば 0.5 秒停止
 - (5) 光センサが白色検知ならば 0.5 秒間右超信地旋回
 - (6) 0.5 秒間右超信地旋回し、0.5 秒間前進
 - (7) 光センサが白色検知ならば 0.5 秒間左に弧を描いて進む
 - (8) 右タッチセンサが ON ならば 0.5 秒右超信地旋回
- 床面は薄青色なので、出発すると、モジュール (6) が機能し右に旋回しながら進み、ロボットが黒線上にくるとモジュール (3) が機能し左旋回して薄青色の領域に戻る。このような動作を繰り返すことにより、黒線に沿って進むようにゴールに到達することができた。

さらに残りの 1 回の試行で Fig. 5 の点線で示すような、障害物と黒線を検知して方向転換してゴールに到達するロボットも第 0 世代目で現れた。このプログラムはゴール到達に要する時間が 14 秒だった。

3.2 実験 2

先の実験は環境における障害物が少なく、ロボットにとつ

Fig. 6 The environment of the experiment 2. Its size is the same as the one in Fig. 3. The left rectangle is the start and the right semicircle is the goal. The gray rectangle represents a wall.

Fig. 7 The fitness at every generation in a trial on the environment in Fig. 6. The solid line represents the average of the fitness and the dotted line represents the maximum of the fitness.

でゴールしやすい環境だったため、早い世代でゴールに到達する個体が現れた。そこで、つぎに Fig. 6 に示す環境を用いて同様の実験を行なった。環境の大きさは先の実験と同じだが、図の網かけ部は壁を表わしており、先ほどの環境よりも難易度が増している。

この実験も 5 回行なった。ゴールに到達するロボットが現れた世代は 0～17 の範囲であり、平均は 5.8 世代となった。

Fig. 7 はある試行における世代ごとの適合度の平均値と最高値を示す。この場合、17 世代目でゴールに到達するロボットが現れた。

5 回の試行中、ゴールに到達したロボットの軌跡の例を Fig. 8 に示す。もっともよく観測されたのは、実線に示すように、壁と黒線によって囲まれた区画を何回か周回したあと、やがてその区画を離れ、弧を描いてゴールに到達するものだった。このような個体は 5 回中、3 回の試行で観測され、最初に出現した世代の平均は 9 世代だった。ゴール到達に要した時間は周回数によって異なり 24～57 秒だった。出発すると、左に弧を描いて進み、黒線にくると右旋回した後、再び、左に弧を描いて進む。左タッチセンサで壁にぶつくと後進し、再び左に弧を描き前進するという動作を繰り返す。そのうち、左右タッチセンサで壁にぶつくと左後ろに後進する。このような動作を何回か繰り返すことによって、壁から離れることができ、最終的にゴールに到達している。

Fig. 8 Trajectories of the robots which reach the goal. The solid trajectory was observed in three trials and the dotted trajectory was observed in two trials.

Fig. 8 の点線で示すような軌跡は 2 回の試行で観測され、最初に出現した世代の平均は 1 世代だった。ゴール到達に要した時間は 138 秒だった。この個体は、Fig. 5 の実線で示した個体と似た行動をとる。しかし、壁にぶつくと左超信地旋回をして、壁から離れる方向に向きを変えることができ、その結果、壁に沿って移動することができた。

4. おわりに

与えられた 2 通りの環境で、SA に基づくプログラムを GA を用いて最適化することにより、ゴールに到達できるプログラムが得られることが確認できた。

今回の実験では、環境の同定は困難であるという状況を想定したため、ロボットがどのような環境で動くのかといったことはいっさい考慮せず、モジュールを作成した。したがって、実際に用いた環境では明らかに有害なモジュール、たとえば「床面が黒色ならば 0.5 秒間直進せよ」といったようなものも含まれていたが、そのようなモジュールを含む遺伝子型は早い段階で淘汰されてしまった。

またゴールした遺伝子型を調べてみると、環境において有効な行動に寄与しているモジュールは 3 個程度であり、ほかのモジュールは優先順位の高いほかのモジュールに抑制されて実際には機能することがない。しかし、より困難な環境、たとえば迷路のような入り組んだ環境では、一連の行動系列が必要になることから長い遺伝子型が必要になると思われる。

今後は、障害物を増やし、より困難な環境や、複数のロボットが存在する環境における進化実験を行なう予定である。

5. 謝 辞

この研究は栢森情報科学振興財団の助成を受けて遂行された。

参 考 文 献

- 1) R. Pfeifer and C. Scheier: 知の創成, 共立出版 (2001)
- 2) R. A. Brooks: A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-2, 14/23 (1986).
- 3) D. Barm, M. Gasperi, R. Hempel and L. Villa: Extreme Mindstorms: An Advanced Guide to Lego Mindstorms, Apress (2000)