

低機能ロボットを対象とした 遺伝的プログラミングによる制御プログラムの生成

小林 修 富永 和人

Osamu Kobayashi Kazuto Tominaga

東京工科大学工学部情報工学科

Department of Information Technology, Tokyo University of Technology

mananan@ns.it.teu.ac.jp

tominaga@cc.teu.ac.jp

1 はじめに

遺伝的プログラミング (GP) を応用して移動ロボットの行動プログラムを生成する研究がおこなわれている。既におこなわれている研究の多くは、ロボットの位置座標を用いてナビゲーションをおこなっている。

位置座標に基づくナビゲーションでは、ロボットが環境マップを持ち、その上での自らの位置を把握しながら移動する。多くの場合、ロボットの位置座標はオドメトリを用いて推定する。オドメトリのような積分型の位置推定方法には累積誤差がある。そこで一般的には、外界センサを用いて環境中のランドマークを観測し、実環境とマップとでランドマークの位置を比較することにより、位置の推定値を修正する。

これに対して本研究では、ナビゲーションにロボットの位置座標を用いない行動プログラムを GP で生成する。オドメトリをおこなわず、またランドマークを用いた位置修正はおこなわないロボットを対象とする。このような低機能なロボットは制作コストの面で利点がある。また、位置座標を用いないナビゲーションは環境が大きく変化して環境マップが作成できない場合にも有効である。

2 問題設定

本研究ではロボットのおこなうタスクとしてサッカーを取り上げる。サッカーはボールとプレーヤーが移動するため、環境が大きく変化するゲームである。サッカーをおこなうフィールドには、ボール、ゴール、ロボットを1つずつ配置する。ロボットはボールをゴールに入れることを目的とする。

このタスクは「対象物を目的地に運ぶ」という基本的な行動であり、さまざまな用途への応用が考えられる。

ロボットは次の機能を持つものとする。(1) ボールやゴールを認識するセンサーを持つ。センサはある角度の視界を持ち、ボールやゴールを感知できる。(2) ボー

ルを押して進むことができる。(3) 左右輪を独立に駆動できる。(4) ランドマークを用いた位置修正やオドメトリをおこなわない。

3 行動プログラムの生成

一般にロボットの行動プログラムには頑強性が求められる。そこでこの研究では、頑強な行動プログラムを生成することを第一の目的とする。ここで頑強性とは、ロボットの初期状態や、センサおよびアクチュエータに対するノイズ等の影響をロボットの動作が受けないことをいう。

GP は遺伝的アルゴリズムの遺伝子型を拡張し、構造的な表現を扱えるようにしたものである。本研究では行動プログラムを遺伝子とする。行動プログラムの生成には sgpc[1] という GP システムを用いた。sgpc は GP の基本的な機能を提供する汎用のシステムである。遺伝子と評価関数は次のように設定した。

GP の終端記号 (表 1) にはアクチュエータへのコマンドを割り当てる。非終端記号 (表 2) には各センサの値に応じてロボットが行動するための関数を設定した。

表 1: 終端記号

コマンド名	動作
MoveForward	前進する
TurnRight	右に 30 度向きを変える
TurnLeft	左に 30 度向きを変える

適応度を求める評価関数は、ロボットがボールを一度でも移動させた場合 (式 1) と、移動させなかった場合 (式 2) に分けて定義した。dist(x, y) は xy 間の距離、G はゴールの位置、Bs はボールの初期位置、Be はボールの終了位置、Rs はロボットの初期位置、Re はロボットの終了位置とする。適応度はボールをゴール

表 2: 非終端記号

関数名	定義
If_Get_Ball(A, B)	ボールを確保している場合は A, 無い場合は B を評価する
If_Face_Goal(A, B)	ゴールを認識した場合は A, 無い場合は B を評価する
If_Face_Ball(A, B)	ボールを認識した場合は A, 無い場合は B を評価する
Prog2(A, B)	A, B の順に評価する
Prog3(A, B, C)	A, B, C の順に評価する

にどれだけ近づけられたかで表す。また、適応度の値が小さい個体がより環境に適応した個体とする。

$$\frac{dist(G, Be)}{dist(G, Bs)} \quad (1)$$

$$\frac{dist(Bs, Re)}{dist(Bs, Rs)} \quad (2)$$

個体の評価にはシミュレーションを用いた。シミュレーションをおこなうフィールドは x-y 平面であり、座標は実数値で表す。フィールドの周囲は壁で囲う。

適応度の評価は訓練例とテスト例に分けておこなった。まず、ボールの初期位置を世代毎に変えて適応度を求める。これを訓練例とする。訓練例での各世代の最優秀個体をその世代の代表個体とする。次に、各世代の代表個体の適応度を訓練例とは別の環境で求める。これをテスト例とする。

訓練例でのボールの初期値は、ロボットを中心とした円周上に世代毎にランダムに配置する。テスト例では、ボールを円周上に配置した 6 種類のケースについてシミュレーションを行い、適応度の平均を求めた。

GP のパラメータとしては集団数 500、最大世代数 100、選択方法はルーレット方式とした。

図 1 にテスト例での適応度の推移を示す。世代を経るにつれて適応度が改善されていることがわかる。50 世代を過ぎると適応度が収束しており、ボールをゴールに入れたことがわかる。86 世代目では適応度が一度悪くなっているが、これはロボットがフィールドを囲っている壁に突き当たり、その場所で前進を繰り返したためである。

4 実機ロボットの制御

生成した行動プログラムで実機ロボットの制御をおこなって、プログラムの頑強性を評価した。

実機ロボットは LEGO 社のブロックキット Mindstorms を用いて構築した。モータにはエンコーダを持たない一般的な（ステッピングモータやサーボモータでは無い）DC モータを用いた。ボールとゴールを認

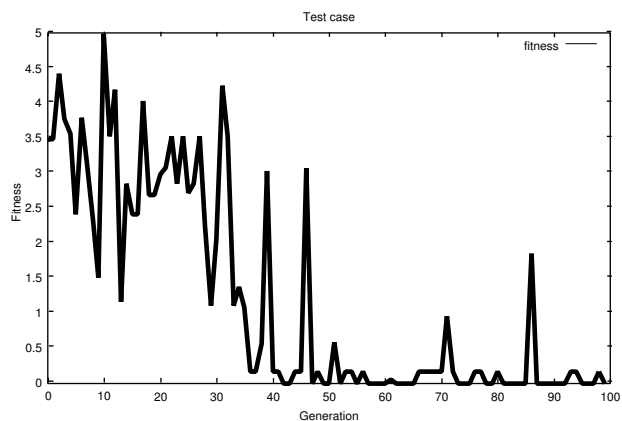


図 1: 適応度の推移

識するセンサは Mindstorms の赤外線通信機能により実現した。

数十回の試行の結果、さまざまな位置にあるボールをゴールに入れることができ、作成したプログラムの頑強性が確認できた。図 2 に実機ロボットがゴールにボールを入れることができた、あるケースのおおよその軌跡をしめす。

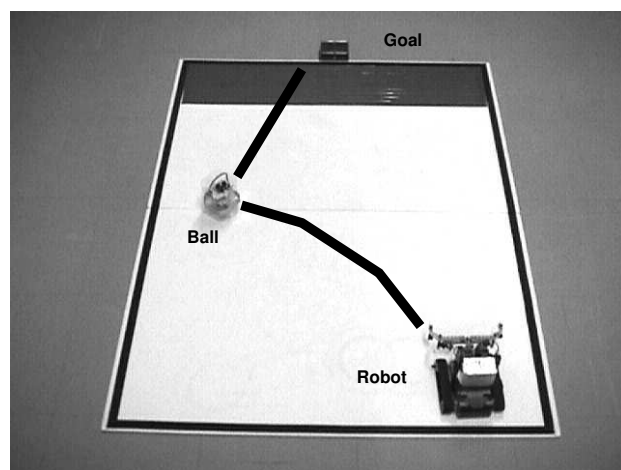


図 2: 実機ロボットの環境

5 おわりに

本研究では低機能なロボットを対象とした行動プログラムを GP を用いて生成した。その後、生成した行動プログラムを用いて実機ロボットの制御をおこない、作成したプログラムの頑強性を確認した。これにより、低機能な移動ロボットのための頑強な行動プログラムを GP で生成できることを確認した。

参考文献

- [1] 伊庭斉志：遺伝的プログラミング，東京電気大学出版局，1997。