

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
研究期間：2007～2008  
課題番号：19300043  
研究課題名（和文）進化型プログラム自動生成法とその自律移動ロボットへの応用  
研究課題名（英文）An evolutionary automatic programming method and its application to autonomous mobile robots

研究代表者  
長尾 智晴（NAGAO TOMOHARU）  
横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授  
研究者番号：10180457

研究成果の概要：本研究では、独自の進化計算法を用いてプログラムの構成要素を適切に組み替えることによって必要とされるコンピュータプログラムを自動構築する手法を開発した。また、本手法を自律移動ロボットの行動決定、特に画像処理・認識、障害物回避行動と異常検知などへ適用する実験を行なってその有効性を検証した。その結果、本手法が複雑な処理を表現するプログラムを適切に自動構築することができることを確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2008 年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：進化計算法

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：人工知能，知能ロボティクス，機械学習，情報システム，知能機械

## 1. 研究開始当初の背景

未知の環境に適応して自らの行動を最適化することができるような近未来の自律移動ロボットを実現するためには、現在行なわれているように、ロボットの制御プログラムを人間があらゆる場合を想定してあらかじめ作り、与える方式では自ずと限界がある。この問題を解決する方法の一つとして、遺伝的アルゴリズムなどの進化計算法を用いることによって、自律ロボットのプログラムを自動構築する方法が考えられる。これによって、様々な状況を想定してコンピュータが自らプログラムを作ること、複雑な状況にも柔軟に対処することが期待される。

しかしながら、研究開始当初の進化計算法にはこのようなプログラムの自動生成に適したものは存在しなかった。従来からの進化

計算法として知られている遺伝的アルゴリズム(GA)や遺伝的プログラミング(GP)は、それぞれ文字列・数値列あるいは木構造を最適化することができる。特に GP では木構造型のプログラムを問題に合わせて自動構築することができる。しかしながら GP では繰り返し処理や再帰処理などを作ることができず、プログラムが不必要に大きくなってしまふなどの本質的な問題があった。このため、より自動プログラミングに適した進化計算法が求められていた。

## 2. 研究の目的

前述のような状況・背景を考慮し、本研究では、プログラムの自動構築に適した新しい進化計算法を開発するとともに、自律移動ロボットへ適用して有効性を検証することを

目的として研究を行った。

本研究ではプログラムの自動構築に適した進化計算法として、データ処理を進化的に最適化することができる方式の開発を目指す。また、特に自律ロボットのセンサとして重要な画像情報を処理・認識することができる進化計算法を開発する。そして、それらの進化計算法を用いて、自律移動ロボットの行動制御、具体的には画像認識、障害物の回避行動、異常検知などを実現することによって有効性を検証する。

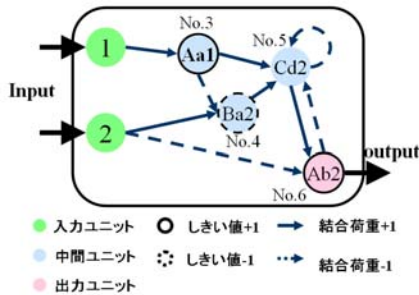
### 3. 研究の方法

本研究では、プログラムの自動構築に必要な進化計算法を開発した後、それらの有効性を検証する実験を行なう。それぞれについて次に述べる。

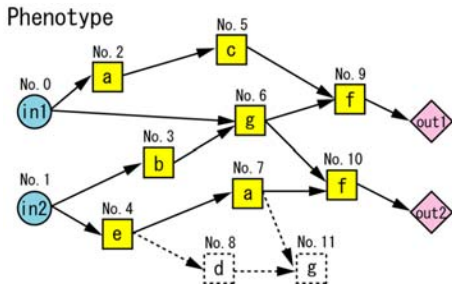
#### (1) プログラムの自動生成のための進化計算法の開発

##### ①回路網状処理の最適化法

始めに、回路網状の処理を最適化する進化計算法を確立する。ここでは神経回路網を進化計算で最適化することで、次図に示すような任意の回路を構築する手法を開発する。



また、素子の機能を一般化し、次のような回路を進化的に生成する方式を開発する。

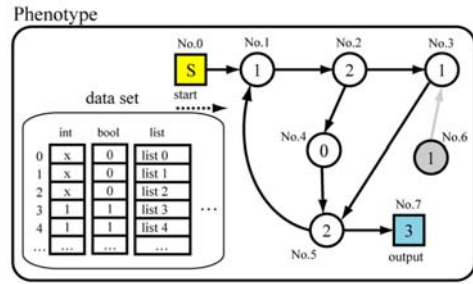


ここで、○は入力ノードであり、ここから画像その他のセンサデータが入力され、□で表わされる処理ノードで処理されて、◇の出力ノードから出力される。ここで、全体の構造と□にどのような処理を入れるかを最適化する進化計算法を開発する。ここでは、○から画像が入力されることを想定し、□として画像処理フィルタを用いることにする。

##### ②回路状プログラムの最適化法

有向グラフ構造という点では①と同様であるが、次図に示すように、ある共通のデータセット(メモリ)をSから同図では3まで

辿る間に加工することによって、データに対する変換を行なう回路状プログラム自動構築法を開発する。学習用のデータ変換事例からその変換を行なうプログラムを生成する。



#### (2) 自律移動ロボットの行動制御実験

続いて、構築した進化計算法を自律移動ロボットに実装してその有効性を検証する。この際の自律ロボットとしては、次図左に示す移動ロボットを用いる。このロボットに CCD カメラ、赤外線距離センサ(次図右)、制御用ノート PCなどを搭載して制御する。

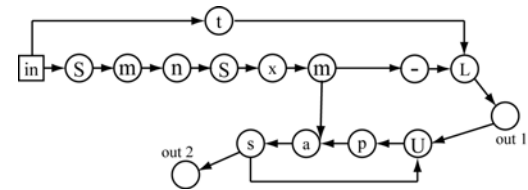


実際にロボットに課す課題としては、画像センサから入力された画像の処理と認識、それに基づくロボットの障害物回避行動の学習、異常状態検知などを扱う。

### 4. 研究成果

本研究により得られた成果を総括する。

(1)回路網状処理の最適化法による画像処理  
開発した回路網状処理の最適化法 (GIN; Genetic Image Network) を画像処理に適用した結果、例えば次に示すような回路網状の画像処理を自動構築することができた。

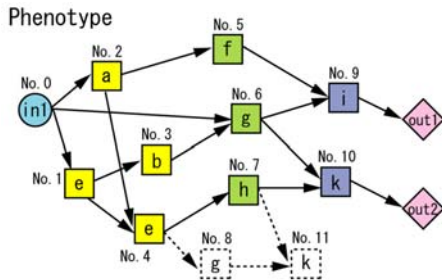


このような処理は、従来の進化計算法、例えば木構造を生成する GP では生成することができない処理であり、複雑な処理が簡潔な構造で表現され、自動構築することができた。

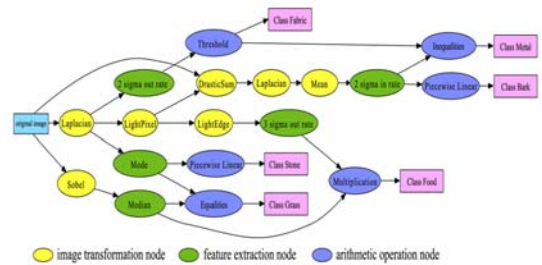
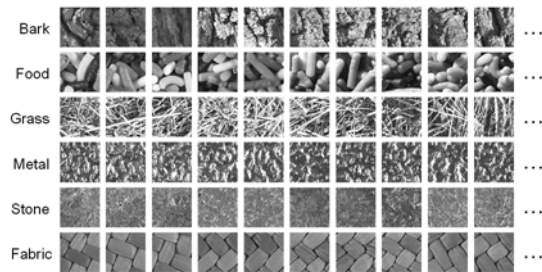
#### (2)回路網状処理の最適化法による画像認識

続いて、GIN を画像認識に適用した。ここでは、画像を入力し、前処理としての画像処理を適用し、特徴抽出して分類処理(算術演算)を行なうという、画像認識の一連のプロセス全体を進化的に最適化することを目的にした。そこで、次図に示すようにGINを構築する際、入力側に近い方から順に黄色の画

像処理ノード、**緑色**の特徴抽出ノード、**青色**の分類（算術演算）ノードを用いることでそれを実現した。



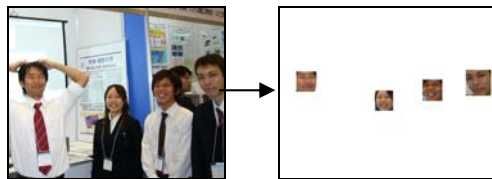
次に実験例を示す。次図上段の画像を6つのカテゴリに分類する回路を本方式で自動構築した結果が次図下段の回路網である。この回路網の左側に画像を入力すると、6つの出力ノードの中で最も大きな出力があったカテゴリとして認識される。



さらに1つのGINを1つの弱識別器として用いて100個の弱識別器を作り、Boostingの原理に基づいてシーン中の人物の頭部検出実験を行なった。次図に“頭部”、“非頭部”の学習画像の例を示す。

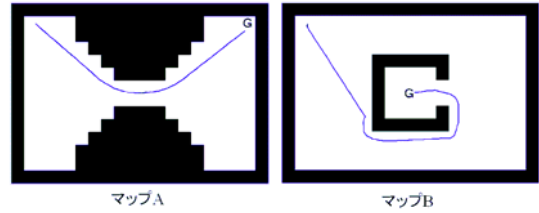


その結果、高精度の認識処理を構築することができた。これにより、次図に示すように画像中の人物の検出を実装することができる。



(3) 回路網状処理の最適化法による行動制御  
単純な素子を回路状に自動構築する方式 (RFCN; Real valued Flexibly Connected

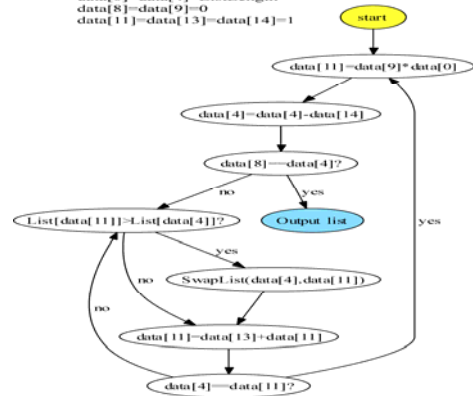
Neural network) を開発してロボットの行動制御に適用した。これにより、次図に示すようにGで表わされるゴールまでの最適経路を学習して移動することができる。



(4) 回路状プログラムの最適化法によるプログラムの全自動構築

回路状プログラムの自動最適化法 (GRAPE; GRAPh structured Program Evolutoin) を開発した。例えば、長さ10~20の数字列とそのソート結果を学習用事例として与えたところ、本方式によって次に示すような汎化されたソートプログラムを自動獲得できた。

```
List (input list)
data[0]=data[4]-ListLength
data[8]=data[9]-0
data[11]=data[13]-data[14]-1
```



このプログラムを解析したところ、次に示すように選択ソートに近い合理的なアルゴリズムを用いていることを確認した。

```
List=input list;
data[4]=ListLength;
data[11]=1;
while(1) {
  data[11]=0;
  data[4]=data[4]-1;
  if(data[4]==0) {
    return List;
  }
  else {
    if(List[data[11]] > List[data[4]])
      SwapList(data[4], data[11]);
    data[11]=data[11]+1;
  } while(data[4]==data[11]);
}
```

選択ソート (Selection sort) に近い

本方式を、さらに自律移動ロボットの障害物回避行動の学習、及びシーン中の不審物の発見、異常状態検知に適用したところ、これらについても良好な結果を得ることができていることを確認した。

以上述べたように、本研究では予定していた方式の開発と、有効性を確認する実験を良好に遂行することができた。達成度は高いと考えられる。今後、必要に応じて産業財産権を確保した後学会などで、本研究の成果を積極的に公表する予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計14件)

- ① Shinichi Shirakawa, Tomoharu Nagao, Graph Structured Program Evolution with Automatically Defined Nodes, Proc. of GECCO '09, Montreal, Canada, 8-12 July (2009), (in printing), 査読有
- ② Shinichi Shirakawa, Tomoharu Nagao, Evolutionary Image Segmentation Based on Multiobjective Clustering, Proc. of CEC2009, pp. 2466-2473, Trondheim, Norway, May 18-21 (2009), 査読有
- ③ 武田真人, 長尾智晴, 移動障害物回避を実現する予測型強化学習の提案, 電気学会論文誌C, Vol. 129, Sec. C (印刷中), (2009), 査読有
- ④ Shinichi Shirakawa, Shiro Nakayama, Tomoharu Nagao, Genetic Image Network for Image Classification, Proc. of EvoIASP 2009, pp. 395-404, Tübingen, Germany, April 15-17 (2009), 査読有
- ⑤ Shinichi Shirakawa, Tomoharu Nagao, Evolution of Search Algorithms Using Graph Structured Program Evolution, Proc. of EuroGP 2009, pp. 109-120, Tübingen, Germany, April 15-17 (2009), 査読有
- ⑥ Shinichi Shirakawa, Shintaro Ogino, Tomoharu Nagao, Dynamic Ant Programming for Automatic Construction of Programs, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 3, pp. 540-548, (2008), 査読有
- ⑦ Shinichi Shirakawa, Tomoharu Nagao, Evolutionary Algorithm Considering Program Size: Efficient Program Evolution using GRAPE, Proc. of GECCO-2008, pp. 2217-2222, Atlanta, Georgia, USA, Jul. 12-16 (2008), 査読有
- ⑧ 田澤和子, 白川真一, 長尾智晴, FCNによる自律エージェントの行動制御と行動解析, 日本知能情報フェジ学会誌, Vol. 20, pp. 800-809, (2008), 査読有
- ⑨ 白川真一, 長尾智晴, Graph Structured Program Evolutionによるプログラムの自動生成, 電気学会論文誌C, Vol. 128, pp. 370-380, (2008), 査読有
- ⑩ Wataru Fujishima, Tomoharu Nagao, Genetic Matrix Algorithm, IEEJ Trans. of Electrical & Electronic Engineering, Vol. 3, pp. 84-91, (2008), 査読有
- ⑪ Shinichi Shirakawa, Tomoharu Nagao, Feed Forward Genetic Image Network: Toward Efficient Automatic Construction of Image Processing Algorithm, Proc. of ISVC 2007, Part II, LNCS 4842, pp. 287-297, (2007), 査読有
- ⑫ Shinichi Shirakawa, Shintaro Ogino, Tomoharu Nagao, Graph Structured Program Evolution, Proc. of GECCO-2007, Vol. 2, pp. 1686-1693, London, England, Jul. 7-11 (2007), 査読有
- ⑬ 白川真一, 荻野慎太郎, 長尾智晴, Genetic Image Networkによる画像変換の自動構築, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用 (TOM 19), Vol. 48, pp. 117-126, (2007), 査読有
- ⑭ 白川真一, 長尾智晴, RFCNによる連続値空間上での自律エージェントの行動制御, 電気学会論文誌C, Vol. 127, pp. 762-769, (2007), 査読有

〔学会発表〕(計5件)

- ① 白川真一, 中山史朗, 長尾智晴, Genetic Image Networkに基づく画像分類法の提案, 情処研報, Vol. 2008-MPS-71, pp. 9-12, 2008年9月18日, 電気通信大学 (2008)
- ② 白川真一, 長尾智晴, プログラムサイズを考慮した自動プログラミングのための進化アルゴリズムの提案, 情処研報, Vol. 2008-MPS-68, pp. 17-20, 2008年3月4日, 道後温泉ホテル椿館, 愛媛 (2008)
- ③ 白川真一, 長尾智晴, 多目的クラスタリングに基づく進化的画像領域分割法, 進化計算シンポジウム 2007 講演論文集, pp. 59-62, 2007年12月27日, 洞爺パークホテル, 北海道 (2007)
- ④ 白川真一, 長尾智晴, Graph Structured Program Evolutionによる複雑なプログラムの自動生成とその解析, 情処研報, Vol. 2007-MPS-66, pp. 21-24, 2007年9月3日, 名古屋大学 (2007)
- ⑤ 白川真一, 荻野慎太郎, 長尾智晴, Genetic Image Networkによる画像変換の自動構築, 情処研報, Vol. 2007-MPS-63, pp. 93-96, 2007年3月4日, ホテル大観荘, 宮城 (2007)

〔その他〕

報道関係情報:

「こちらラボ横浜国立大学長尾研究室」フジサンケイビジネスアイ, 2007年6月23日  
<http://www.nlab.sogol.ynu.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

長尾 智晴 (NAGAO TOMOHARU)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授  
研究者番号: 10180457

(2) 研究分担者

荻野 慎太郎 (OGINO SHINTARO)

横浜国立大学・ベンチャービジネスホトリ・講師  
研究者番号: 00401703

(2007年度のみ参加(2007年度末に退職))

(3) 連携研究者

なし