

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月16日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300050

研究課題名（和文）機械学習に基づく画像認識処理の進化的自動構築に関する研究

研究課題名（英文）A research on evolutionary automatic construction of image recognition procedure based on machine learning

研究代表者

長尾 智晴（NAGAO TOMOHARU）

横浜国立大学・環境情報研究院・教授

研究者番号：10180457

研究成果の概要（和文）：本研究では、進化計算法を用いて画像認識器を自動構築する方式について研究した。その結果、進化的条件判断ネットワークと呼ぶ方式を開発した。本方式では、認識対象データと参照データを入力し、特徴量の大小判定を行うだけでそれらをクラス分類することができるネットワーク構造を、学習用画像セットから全自動で構築することができる。本方式を医用画像認識などのいくつかの画像認識の課題に適用し、その有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：In this project, we researched automatic construction of image recognizer by using evolutionary computation. As the result, we developed a method named “Evolutionary Decision Network”. In this system, by giving learning images to computer, a network that classifies the input signal and its referential signals into several classes is automatically generated. Each node of the network branches the signal according to the size of its feature value. We performed several experiments including medical image recognition, and verified the usefulness of the proposed method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2010年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

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：知能情報処理，進化計算法，人工知能，機械学習，知能機械，知能ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

近年、画像を扱う機会が増えたことで、計算機による画像認識・分類に対するニーズがより一層高まっている。一般に、デジタル画像には多種多様な物体が存在する。さらに、角度や照明などの変化によって見え方が変わるため、計算機によってすべての画像を自動的に認識・分類することは大変困難である。そこでそれらに対応するため、精度の高い画

像特徴量および識別器を生成するための研究が盛んに行われており、さまざまなアプローチがなされている。また、事例ベース学習によって認識器や用いる特徴量などを問題ごとに最適化することで、対象とする問題に適した認識アルゴリズムを生成する手法も提案されている。しかし、これらの手法の多くで得られる識別器や特徴量は複雑になることが多く、認識・分類の根拠を人間が理解すること

は大変困難である。特に、医用画像認識や自動製品検査など、対象となる問題によっては利用者が納得することができるような分類の根拠の提示や、専門家の判定基準を取り入れることが求められる場合があり、実際に使用する際にはそれらを考慮した手法が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、処理フローの追いやささという観点から、人間が理解し易い構造をもった画像認識器の自動生成法の開発と、実験を通じた手法の有効性の検証を目的にして研究を進めた。

3. 研究の方法

人間がコンピュータの処理フローを認識し易いと言われている構造に決定木がある。決定木についてはかなり以前から研究されており、自動生成技術が確立されている。このため、今回は決定木の構造を内包し、かつ複数入力・複数出力が可能なネットワークを進化計算法で自動構築する方法を検討した。

本研究の方法は次の通りである。

(1) 基礎方式の開発

今回扱う問題に適した新しい進化計算法を開発する。

(2) 有効性の検証

(1)で開発した方式を様々な画像認識問題に適用して性能を評価する。

4. 研究成果

3.で述べた研究方法毎に研究成果を述べる。

(1) 基礎方式の開発

本研究では、進化的条件判断ネットワーク (Evolutionary Decision Network: EDEN) と称する新しい進化計算法を開発した。

① EDEN の構造

EDENの表現型と、それに対応する遺伝子型の例を図1に示す。EDENでは表現型であるフィードフォワード型のネットワーク構造を、遺伝子型として1次元の文字列に変換し、その文字列の各要素に対して遺伝操作を施すことで最適化を行う。EDENで用いるノードは大きく分けて入力ノード、中間ノード、出力ノードの3種類である。入力ノードは入力するデータである特徴量ベクトルに対応する。入力ノードには、分類対象データの入力ノードと分類対象データに関連する参照データの入力ノードが含まれる。各中間ノードではある特徴量について、しきい値による分岐など、ノードごとに決められた判定内容によって分岐を行う。出力ノードはクラス出力である。

② EDEN の遺伝操作と世代交代モデル

EDENの世代交代モデルには進化戦略の(1+4)ESを用いた。EDENの世代交代は次のように行われる。

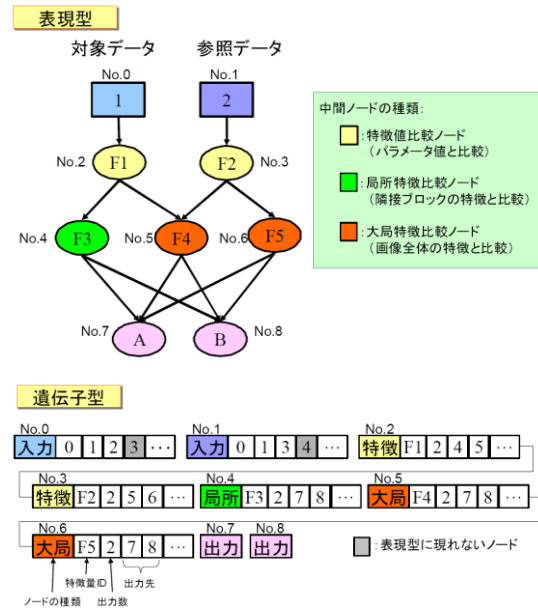


図1 EDENの表現型と遺伝子型

Step 1: 初期個体をランダムに1つ生成し、親個体 M として評価値を計算する。

Step 2: M に突然変異の操作を適用して子個体を4つ生成し、その子個体集団を C_i ($i = 1, 2, 3, 4$)としてそれぞれ評価値を計算する。

Step 3: 全個体の集合 $M + C_i$ から評価値が最も高い個体を選び、 M に置き換える。ここで、親個体と子個体の評価値が等しい場合は子個体を優先して選択する。

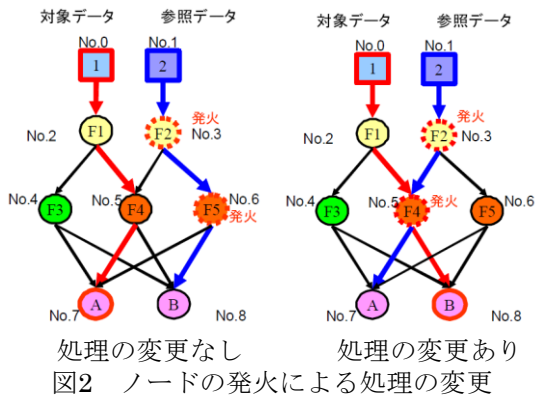
Step 4: 終了条件を満たす場合は終了する。そうでなければStep 2に戻る。

グラフ構造における進化計算法においては突然変異だけがよく用いられるため、本手法においても突然変異だけを用いている。突然変異の操作は各遺伝子に対して行われ、突然変異率 P_m の確率でノードの種類や出力先、パラメータ値を一様乱数で変更する。具体的には、入力ノードでは出力先ノードに対して突然変異が行われる。中間ノードでは判定内容の種類、特徴量ID、出力数、出力先ノード、パラメータ値、発火した場合のパラメータ値、および比較元となる参照データに対して突然変異が行われる。

③ 参照データと発火状態

EDENでは、分類を行う対象データに加え、参照データとして対象データに関連するデータを別の入力ノードからそれぞれ入力することで、より複雑なネットワークの処理を表現することができる。具体的には、参照データが通ったノードは発火状態となり、発火しない場合は異なる処理が行われる。参照データの発火による影響がない場合と影響がある場合の例を図2に示す。

処理の流れとしては、はじめに参照データの入力ノードから、参照データをネットワー



クに入力し、その経路上に存在するノードを発火状態にする。ここで、図2左ではNo.3とNo.6のノードが、図2右ではNo.3とNo.5のノードが発火状態にある。そして、すべての参照データを入力し終わった後に、対象データを対象データの入力ノードから入力して分類を行う。ここで発火状態のノードでは、対象データによる分岐を判定する際に、発火していない状態とは異なる処理が行われる。図2右ではNo.5のノードが発火状態であるために、出力先ノードへの分岐を行う際に図2左とは異なる処理が行われる。こうすることで、対象データだけでは判定が困難なデータに対しても、参照データの影響を考慮することによって判定することができるようになることを期待する。

(2) 有効性の検証

開発したEDENの有効性を検証するため、ベンチマーク問題のひとつであるGraz-02データセットを使用した。画像をブロックに分割し、提案手法を適用してそれぞれのブロックが車クラスか背景クラスかに分類する。この画像セットは、写り込んでいる車の大きさ、種類、向きなどが統一されていないため、分類問題としての難易度は非常に高い。実験には、画像サイズが横640×縦480[pixel]のものを学習、および検証用画像としてそれぞれ150枚用いた。ブロック分割数は、1枚の画像に対して8×8としたので、1ブロックあたり横80×縦60[pixel]であり、分類対象となるブロック数は学習、および検証用でそれぞれ9600ブロックである。また、Graz-02データセットには正解画像が用意されており、正解画像における車領域がブロック内に1画素でも存在すれば車クラス、そうでない場合は背景クラスとした。クラスの内訳は学習用データの車クラスが1872ブロック、背景クラスが7728ブロックであり、検証用データの車クラスが2187ブロック、背景クラスが7413ブロックとなった。用いた画像と正解画像の例を図3に示す。ここで、正解画像中の黒い画素が車領域であり、画像を8×8分割したときの境界線を緑色の破線で示した。

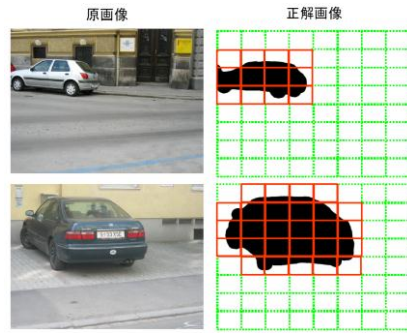


図3 用いた画像と正解の例

ここで特徴量としては、6種類の色成分(RGB, L*a*b*)に対して11種類の統計量を計算した色特徴66種類と、輝度値の勾配の方向や強さに関する勾配特徴8種類の合計74種類を用いた。学習用画像および検証用画像である未知画像に対する分類結果を、比較手法である決定木C4.5による結果(C)と比較して表1に示す。ここで、EDENの結果(E)は5回試行の平均であり、評価関数においてデータの偏りを考慮していない場合と考慮した場合(偏りあり)の両方の結果を示している。

EDEN(偏りあり)によって構築されたネットワークを図4に示す。ここで楕円形のノードはしきい値による分岐を表し、四角形のノードは参照値と近いかどうかの分岐を表す。なお、ここでは参照入力だけに接続しているノードは省略し、対象ブロックの判定に直接用いられるネットワークを示している。

表1 得られた認識率

	C		E		E (偏りあり)	
	学習	未知	学習	未知	学習	未知
車	80.5	56.1	50.4	51.8	83.4	82.1
背景	99.4	89.9	97.0	91.2	78.8	74.2
全体	95.7	82.2	87.9	82.2	79.7	76.0

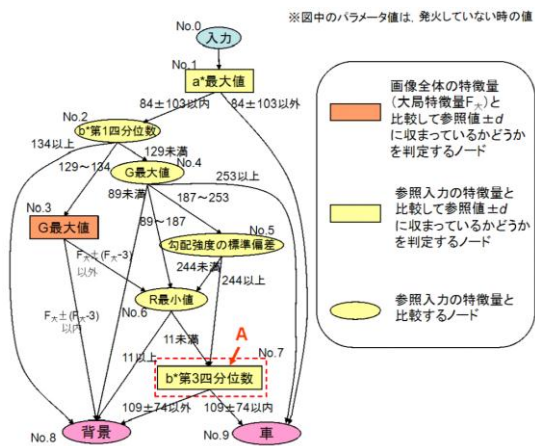


図4 自動構築された画像分類ネットワーク

実験結果から、EDENではC4.5と比較して学習用と検証用の正答率に大きな差がないことを確認することができた。これは、C4.5では学習データを過分割するために、未知データのわずかな違いに対応することができなかつたと考えられる。これに対してEDENでは、参照入力によってノードが発火状態になることによってノードの分岐基準が変わるため、少ないノード数でも決定木と比べてより複雑な分岐を表現することができる。このことで過分割を抑制しており、他データとの関係性によって分岐が決まる場合もあるため、未知のデータに対しても学習時と同程度の精度を保った分類を行うことができると考えられる。

進化計算法によって得られたネットワークの一部を人手で変更し、過検出を抑えることが出来るかどうかを確認した。図4に示したネットワークにおいて、Aのノードのパラメータを変更する。このノードは最も過抽出が多いパスが最後に通るノードであり、背景と判定される特徴量の範囲が比較的広く設定されていた。そのため、参照データによる発火が起きない場合のパラメータを約4分の1にすることで過抽出を制限させることを図る。ノードのパラメータを変更した後の分類結果を示した例を図5に示す。この結果から、修正前は車クラスに誤分類されていた木などの特徴的なエッジが存在する領域の多くが、正しく背景クラスと判定されるようになった。しかし、右上の画像のように、大きく写りこんでいる車の内側のブロックが背景クラスに誤分類される傾向も見受けられた。

以上のことから、EDENでは、処理フローを追い易く、かつ人が理解し易い処理構造を自動獲得することができるとともに、ノードに対するパラメータを変更し微調整することで、目的とする処理に合わせて分類器を人手で調整することができると言える。

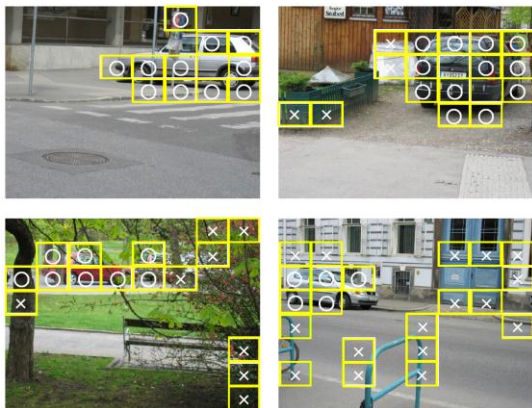


図5 パラメータ調整後の認識結果の例

ここで示した例以外の画像認識問題に対しても開発した方式を適用して有効性を検証したところ、従来までの認識器と同等以上

の分類性能があることを確認することができた。また、得られた分類器の構造は、従来の方法に比較して、人にとって分かり易く、安心して使用することができるものとなっていることを確認した。

以上の成果から、本研究は当初の目標を十分に達成することができたと考える。今後は、さらに「人にとって分かり易い」画像認識器の自動構築について検討する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計8件)

- ① 長尾智晴, 画像認識における進化型計算の有用性, 電気学会誌, 査読なし, 132 巻, 2012, 216-220
https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejournal/132/4/132_4_216/_article/-char/ja/
- ② 中山史朗, 白川真一, 矢田紀子, 長尾智晴, 弱識別器に Genetic Image Network を用いたアンサンブル画像分類法, 電気学会論文誌 C, 査読有, 131 巻, 2011, 958-965, DOI: 0.1541/ieejournal.131.958
- ③ 白川真一, 矢田紀子, 長尾智晴, 遺伝的プログラミングによる実数値 GA の性能差を強調する探索空間の生成, 進化計算学会論文誌, 査読有, 1 巻, 2011, 54-64, http://shirastar.com/paper/ec_sympo09_shirakawa.pdf
- ④ 西原弘晃, 矢田紀子, 長尾智晴, 色度遷移モデルと平面近似による画像の領域分割, 情報処理学会論文誌(TOM), 査読有, 4 巻, 2011, 36-47, <http://ci.nii.ac.jp/naid/10026760550>
- ⑤ 大平良司, 矢田紀子, 長尾智晴, 単純な図形の組み合わせによる分類アルゴリズム, 情報処理学会論文誌(TOM), 査読有, 3 巻, 2010, 36-43, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007993847>
- ⑥ 安藤 淳, 矢田紀子, 長尾智晴, アンサンブル学習を用いた木構造状画像変換の高精度化, 情報処理学会論文誌(TOM), 査読有, 3 巻, 2010, 65-73, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007989971>
- ⑦ 白川真一, 中山史朗, 矢田紀子, 長尾智晴, Genetic Image Network に基づく画像分類アルゴリズムの自動構築, 人工知能学会誌, 査読有, 25 巻, 2010, 262-271, DOI: 10.1527/tjsai.25.262
- ⑧ 白川真一, 長尾智晴, プログラムサイズを考慮した進化アルゴリズムによるグラフ構造状プログラムの自動生成, 電気学会論文誌 C, 査読有, 130 巻, 2010, 57-65, DOI: 10.1541/ieejournal.130.57

〔学会発表〕(計11件)

- ① 大塚純二, 長尾智晴, グラフ構造によるファジィルールの進化的構築法と画像分類への応用, 平成24年電気学会全国大会, 2012.3.21, 広島
- ② 松永 圭, 長尾智晴, クラスタリングを用いた進化的条件判断ネットワークによる画像分類, 2012年電子情報通信学会総合大会, 2012.3.20, 岡山
- ③ 穂積知佐, 長尾智晴, 進化的条件判断ネットワークへのファジィ集合理論の導入, 2012年信学全大, 2012.3.20, 岡山
- ④ 齊藤航太, 長尾智晴, 乗用移動台車を用いた動的な3次元環境における人検出, 2012年電子情報通信学会総合大会, 2012.3.20, 岡山
- ⑤ 穂積知佐, 長尾智晴, 進化的条件判断ネットワーク EDEN の提案, 第1回進化計算学会研究会, 2011.9.9, 東京
- ⑥ 長尾智晴, 画像処理・認識の全自動化・最適化の最新動向, 第71回日本画像学会技術講習会, 2011.7.7, 東京
- ⑦ 石川 卓, 矢田紀子, 長尾智晴, 進化的条件判断ネットワークによる紙の分類, 第78回紙パルプ研究発表会, 2011.6.14, 東京
- ⑧ 穂積知佐, 矢田紀子, 長尾智晴, 進化的条件判断ネットワークを用いた歩行者画像の分類, 平成23年度電気学会全国大会, 2011.3.18, 大阪
- ⑨ Shiro Nakayama, S. Shirakawa, N. Yata and Tomoharu Nagao, Ensemble image classification method based on genetic image network, EuroGP 2010, 7-9 April, 2010, Turkey
- ⑩ 長尾智晴, 進化計算による画像処理・認識の自動構築の最前線, 電子情報通信学会バイオメトリックセキュリティ研究会第18回研究発表会, 2009.6.12, 横浜
- ⑪ 長尾智晴, 画像工学における EC の動向, 人工知能学会第1回進化計算フロンティア研究会, 2009.5.29, 東京

〔図書〕(計1件)

- ① Jun Ando, Tomoharu Nagao, IN-TECH, Chen Yung-Sheng (ed.), Image Processing, chapter 22, 2009, 12

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: 進化的条件判断ネットワーク
発明者: 長尾智晴, 中山史朗
権利者: 横浜国立大学
種類: 国際特許分類 G06N 03/00
番号: 特願 2010-217177
出願年月日: 2010年9月28日
国内外の別: 国内

〔その他〕

<http://www.nlab.sogo1.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・環境情報研究院・教授
研究者番号: 10180457

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし