

遺伝的プログラミングを用いた画像処理のプロット抑制手法 A bloat restriction method in genetic programming for image processing

加藤 慎二[†] 内田 健[‡]
Shinji KATO Takeshi UCHIDA

1. はじめに

近年、画像抽出・認識は多くの分野で必要とされている。しかし、画像抽出アルゴリズムはそれを適用する問題に強く依存しているため、問題に合わせて画像処理を考案しなければならない。そこで、進化計算を用いた画像処理手法が提案され、原画像と抽出画像を与えるだけで、画像抽出手順を自動で構築できるようになった[1-2]。特に、遺伝的プログラミング(Genetic Programming : GP)を用いた画像抽出法が数多く提案され、高精度化や高速化を目的としたアルゴリズムの改良が示されている[3-10]。

しかし、GP は遺伝子長の増加により、解探索の速度低下を引き起こすプロットと呼ばれる問題を持つ。GP におけるプロットを解決するために多くの解決法[11]が提案されているが、GP による画像処理における適用例は少ない。その中の一つの方法として、GP を用いた道路標識抽出におけるプロット抑制手法が提案されている[3]。

このプロット抑制手法は、遺伝子中に存在する冗長な部分木を削除できる機能を持つが、冗長な部分木の削除に必要な処理時間が増大し、解探索時間を短縮できない問題を抱えている。

そこで、本稿では遺伝子長を制限できる交叉および突然変異を GP に適用し、道路標識抽出におけるプロット抑制効果を検証する。

2. 遺伝的プログラミングによる道路標識抽出

2.1 遺伝的プログラミングによる画像処理

画像処理フィルタの設計は、入力画像に対して所望の出力画像を得るために、基本的な画像処理フィルタの組み合わせと各フィルタのパラメータを決定することである。この画像処理フィルタの設計を最適化問題として扱い、GP を用いた解法が提案されている[1-2]。

画像処理フィルタの設計への GP 応用では、一般的に図 1 に示すように、基本的な画像処理フィルタの組み合わせを木構造の遺伝子として表現する。葉ノードに相当する画像処理フィルタに入力画像を与え、根ノードより出力画像を得る。GP ではこの遺伝子を母集団に複数持ち、各遺伝子に交叉や突然変異を適用し、新たな遺伝子を生成する。このとき、望ましい出力画像を与える遺伝子を優先的に残し、解探索を行う。一般的な GP の処理手順を図 2 に示す。

2.2 道路標識抽出への応用

自動車の安全運転を支援する目的で、風景画像から道路標識を抽出する取り組みが数多く報告されている[12-13]。風景画像から道路標識を抽出する画像処理フィルタの設計では、風景画像を入力し、道路標識のみを抽出した出力画像を得るために、画像処理フィルタの組み合わせと各フィルタのパラメータを調整する。

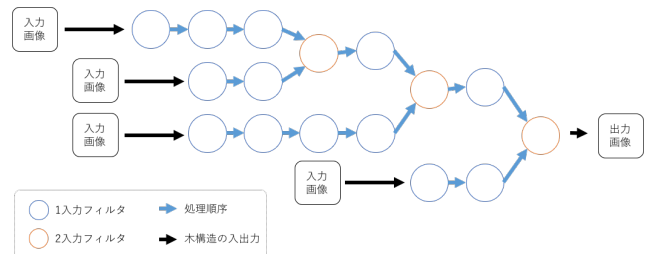


図 1. 木構造による画像処理フィルタの組み合わせ表現

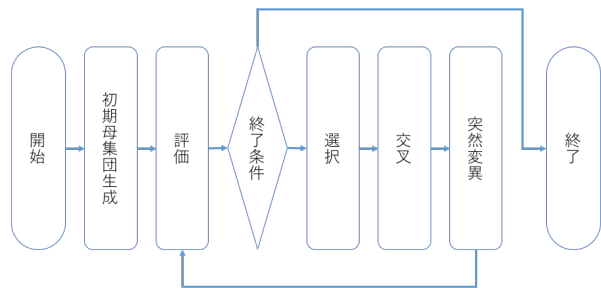


図 2. GP の処理手順

道路標識抽出のための画像処理フィルタの設計を最適化問題として解く場合、入力画像となる風景画像に対して理想的な抽出結果を目的画像として与える。出力画像が目的画像と一致するように画像処理フィルタの組み合わせと各フィルタのパラメータを決定する。一般に、入力画像に占める道路標識の領域は小さい。そこで、出力画像と目的画像の類似度を計算するとき、その類似度に道路標識の領域の一致を優先して反映させるための重み画像を用意する。図 3 に重み画像を用いた出力画像と目的画像の類似度計算の概念図を示す。

道路標識抽出のための画像処理フィルタの設計に対して GP による解法が提案されている。文献[3]では、各画像処理フィルタのパラメータは固定とし、画像処理フィルタの組み合わせを GP により決定している。遺伝子は基本的な画像処理フィルタをノードとする木構造で表現される。基本的な画像処理フィルタとして、閾値が固定された複数の 2 値化フィルタをはじめ、平滑化フィルタや加減算処理等が用意されている。特に、葉ノードへ割り当てられる画像処理フィルタは限定されており、入力画像の RGB 成分抽出フィルタなどの入力画像を処理するための特別なフィルタを用意している。以下に、文献[3]における GP の処理手順を示す。また、本稿では次の表記を用いる。

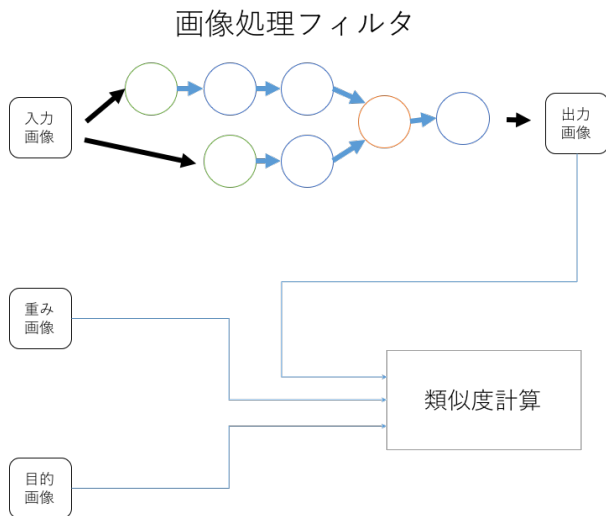


図 3. 類似度計算の概念図

N, M	画像サイズ
I	RGB 形式の $N \times M$ ピクセルの入力画像
P	RGB 形式の $N \times M$ ピクセルの目的画像
W	$N \times M$ ピクセルの重み画像
O	RGB 形式の $N \times M$ ピクセルの出力画像
$A(i, j)$	画像 A における (i, j) ピクセルの画素値
V_{filter}	画像処理フィルタとして用意するノード集合
V_{input}	用意する葉ノード集合, $V_{input} \subset V_{filter}$
T	木 $G(V_T, E_T)$ で表現される遺伝子
$T(v)$	遺伝子 T のノード $v \in V_T$ を根とする部分木
$len(T)$	遺伝子 T の最大の深さ(遺伝子長)
L_{min}, L_{max}	遺伝子長の最小値, 最大値
N_{pop}	母集団の個体数
N_{gen}	最大世代数
p_{cx}	交叉率
p_{mut}	突然変異率

- 初期集団生成

N_{pop} 個の個体を生成し初期母集団とする。個体の遺伝子 T は次に従い生成する。このとき、母集団の半分の個体は、すべての葉ノードの深さが一定となる遺伝子を持つ。残り半数の個体の遺伝子は、任意の深さの葉ノードを持つ。

- (1) 根ノードを $V_{filter} - V_{input}$ から選ぶ。遺伝子長 L は $L_{min} \sim L_{max}$ の間でランダムに決定する。
- (2) 任意の深さの葉ノードを持つ遺伝子の場合には、根ノードに続くノードを V_{filter} より選び、深さが L のときはノードを V_{input} から選ぶ。
- (3) すべての葉ノードの深さが一定となる遺伝子の場合には、根ノードに続くノードを $V_{filter} - V_{input}$ より選び、深さが L のときはノードを V_{input} から選ぶ。

- 評価

風景画像を複数用意する。 K 個の風景画像に対して、各風景画像を入力画像として、対応する目的画像と重み画像を用意する。入力画像 I_k を遺伝子の画像処理フィルタに与え出力画像 O_k を得る ($k =$

$1, 2, \dots, K$)。入力画像 I_k に対する目的画像 P_k と重み画像 W_k によって類似度 e_k を式(1)で与える。

$$e_k = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M |P_k(i, j) - O_k(i, j)| \times W_k(i, j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M 255 \times 3 \times W_k(i, j)} \quad (1)$$

ここで、 $|P_k(i, j) - O_k(i, j)|$ は各 RGB 成分の差の絶対値和である。

個体の評価値は式(2)で与えられる。

$$E = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K e_k \quad (2)$$

- 終了条件
 - 現在の世代数が N_{gen} 未満ならば選択に進み、 N_{gen} ならば終了する。
- 選択
 - 母集団から評価値が上位の 3 個体をエリートとして保存する。
 - 評価値が下位の 6 個体を母集団から削除し、先に保存したエリートを各々 2 個体ずつ用意し、計 6 個体を母集団へ戻す。
- 交叉
 - 母集団中からランダムに 2 個体を取り出す。交叉率 p_{cx} で交叉を行う。交叉を行う場合、各個体の遺伝子から部分木を任意に選択し、部分木を交換する。これらの個体を母集団に戻す。以上の処理を母集団のすべての個体に対して重複なく実施する。
- 突然変異
 - 母集団中からランダムに個体を取り出す。突然変異率 p_{mut} で突然変異を行う。突然変異を行う場合、個体の遺伝子から部分木を任意に選択し、新たに生成した木で置き換える。この個体を母集団へ戻す。以上の処理を母集団のすべての個体に対して重複なく実施する。

3. ブロート抑制手法と問題点

GP では、交叉や突然変異によって部分木の置き換えが発生する。このとき、部分木の置き換えにより遺伝子のノード数や遺伝子長が増加することがある。このような遺伝子が母集団の中で良い評価値を持つ場合、解探索が進むにつれ、遺伝子長の長い個体が増加する傾向にある。GP のこの現象は一般にブロートと呼ばれる。GP のブロートによる処理速度の低下は、解探索に時間を必要とする問題を引き起こす。

3.1 道路標識抽出におけるブロート抑制手法

GP を用いた道路標識の抽出においても、ブロートによる解探索の速度低下がみられ、文献[3]において 2 つのブロート抑制手法が提案されている。これらのブロート抑制手法は GP における選択と交叉の間に適用される(図 4)。以下に、これらのブロート抑制手法の手順を示す。

- 出力類似ノードによるブロート抑制
 - 個体の遺伝子における異なる 2 ノード出力が類似している場合、これらのノード間を削除し、ブロートを抑制できることがある。 U_{B1} 世代毎に母集団からランダムに取り出した N_{B1} 個の各個体に対して、次の処理を行う。

- (1) 遺伝子 T から任意のノード v_a を選択する. 部分木 $T(v_a)$ から任意のノード $v_b (\neq v_a)$ を選択する.
- (2) 入力画像 I_k に対するノード v_a の出力 $O_k^{v_a}$ とノード v_b の出力 $O_k^{v_b}$ の類似度を計算する. ここで, 式(3)で求めた類似度が 0.999 以上であった場合, 次に進む. それ以外は終了する.

$$S = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K S_k \quad (3)$$

$$s_k = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (|O_k^{v_a}(i,j) - O_k^{v_b}(i,j)|)}{M \times N \times 255 \times 3} \quad (4)$$

- (3) 部分木 $T(v_a)$ を部分木 $T(v_b)$ で置き換える.

● 単色画像出力ノードによるブロー抑制

個体の遺伝子におけるノードの出力が単色画像である場合, そのノードを根とする部分木を単色画像に相当する葉ノードで置き換えることで, ブロー抑制できる. U_{B2} 世代毎に母集団からランダムに取り出した N_{B2} 個の各個体に対して, 次の処理を行う.

- (1) 遺伝子 T から根ノード以外のノード v を選択する.
- (2) すべての入力画像 $I_k (k = 1, 2, \dots, K)$ に対するノード v の出力 O_k^v が単色画像となる場合, 次に進む. それ以外は(4)に進む.
- (3) 部分木 $T(v)$ を単色画像に相当する葉ノード $v_{single} \notin V_{input}$ で置き換え, 終了する.
- (4) 以上の処理を遺伝子 T のすべてのノードに対して重複なく行う.

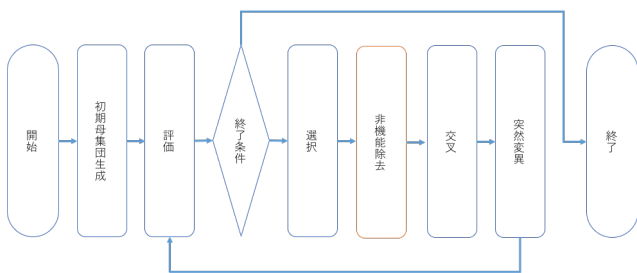


図 4. 非機能除去によるブロー抑制手法を用いた GP

3.2 従来法の問題点

2つのブロー抑制手法を適用した図4のGPを実装し, ブロー抑制の効果を調査した. 5節の数値実験と同条件で解探索させ, 500世代までのブロー抑制の適用回数と個体の持つノード数の母集団における平均値を確認した. 図5にブロー抑制手法を適用し, 遺伝子長が短くなった個体数を示す. 同図より, 200個体の母集団に対し, 10%弱の個体のブロー抑制していることがわかる. しかし, 従来法は解探索の実行時間を削減できない(図6). 図6ではブロー抑制手法を用いない場合に比べ, ブロー抑制手法を用いた場合は, 解探索の実行時間が増加している. この原因は, ブロー抑制手法による遺伝子長の短縮が実行時間に与える影響に比べ, ブロー抑制手法の処理時間が実行時間に与える影響の方が大きいことにある. 実際, 個体の持つノード数は平均値で100ノード程度の削減にとどまっている(図7). 解探索の実行時間を削減するためには, 遺伝子長をさらに短縮する手法を必要とする.

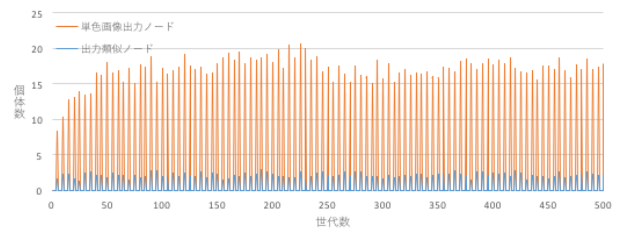


図 5. 従来法によりブロー抑制した個体数

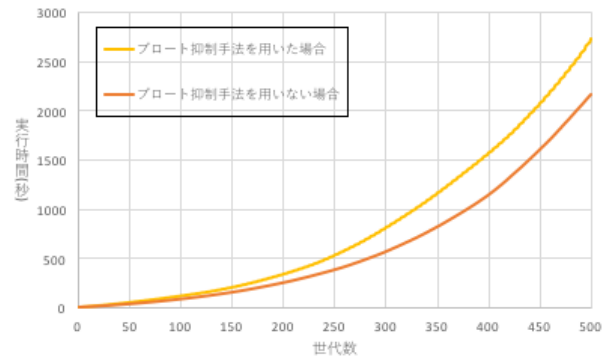


図 6. 解探索の実行時間

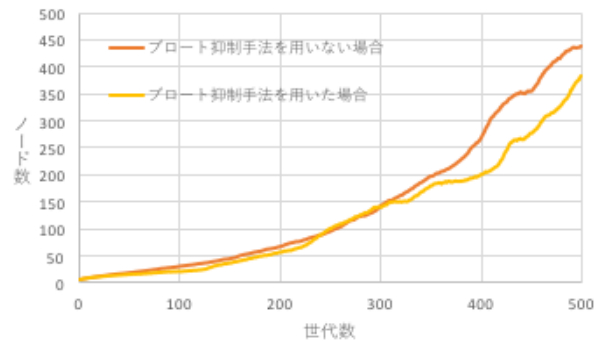


図 7. 従来法によるブロー抑制によるノードの減少

4. 木の深さ制限によるブロー抑制

従来のブロー抑制手法は, 遺伝子長の短縮を十分に実施できていない. 特に, 解探索の初期よりブロー抑制の効果を期待出来る新たな手法が必要である. そこで, 本稿では従来のブロー抑制手法に代わり, 交叉, 突然変異においてブロー抑制する手法を提案する.

提案法は, 交叉, 突然変異での部分木置き換えにおいて, 遺伝子長を一定の長さ以下に保つことができる. さらに, 提案法は, 従来法のように個体のノードを網羅的に調べることをしないため, ブロー抑制に必要な処理時間は低く抑えられる. 図8に提案法を適用したGPの流れ図を示す. 同図における遺伝子長制限交叉の手順を図9に, 遺伝子長制限突然変異の手順を図10に示す. ここで, 図における L_{lim} は遺伝子長の制限値で $L_{lim} \geq L_{max}$ の値を与える.

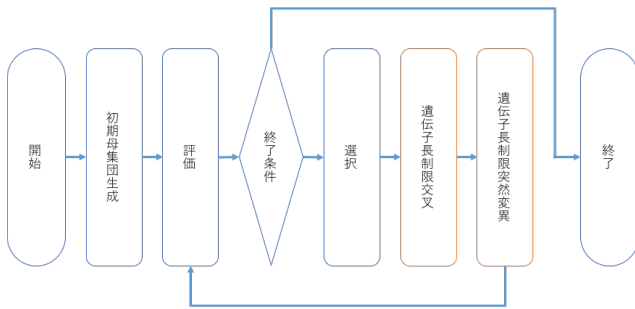


図 8. 遺伝子長制限交叉・突然変異を用いた GP

- (1) 母集団から個体 T_A と T_B を取り出す。
- (2) 区間 $[0.0, 1.0]$ の実乱数 r を生成し、 $r \leq p_{cx}$ なら次に進む。それ以外は T_A と T_B を母集団へ戻し、(5)へ進む。
- (3) T_A の任意のノード v_a を根とする部分木 $T(v_a)$ と、 T_B の任意のノード v_b を根とする部分木 $T(v_b)$ を置き換え、 T'_A と T'_B を生成する。
- (4) $len(T'_A) \leq L_{lim}$ かつ $len(T'_B) \leq L_{lim}$ なら、母集団へ T'_A と T'_B を戻す。それ以外は(3)へ戻る。
- (5) 以上の処理を母集団のすべての個体に対して重複なく行う。

図 9. 遺伝子長制限交叉の手順

- (1) 母集団から個体 T を取り出す。
- (2) 区間 $[0.0, 1.0]$ の実乱数 r を生成し、 $r \leq p_{mut}$ なら次に進む。それ以外は T を母集団へ戻し、(5)へ進む。
- (3) T の任意のノード v を根とする部分木 $T(v)$ を新たに生成した木と置き換え、 T' を生成する。
- (4) $len(T') \leq L_{lim}$ なら、母集団へ T' を戻す。それ以外は(3)へ戻る。
- (5) 以上の処理を母集団のすべての個体に対して重複なく行う。

図 10. 遺伝子長制限突然変異の手順

5. 数値実験

ここでは、提案法のブロート抑制効果を調べ、遺伝子長制限交叉・突然変異が解探索へ悪影響を及ぼさないことを確認する。

5.1 実験方法

本実験では、ブロート抑制手法を用いない GP(GP_s)、従来のブロート抑制手法を用いた GP(GP_{eu})、提案手法を用いた GP(GP_{hl})の 3つを対象に、以下の調査を行う。

- (1) ブロート抑制の効果を比較するために、個体の遺伝子長を 100 世代毎に調べ、母集団における最小値、最大値、平均値を求める。
- (2) ブロート抑制による遺伝子長の短縮が実行時間に与える影響を比較するために、各世代までの解探索の実行時間を調べる。

- (3) ブロート抑制手法による解探索の影響を比較するために、100 世代毎の個体の評価値を調べ、母集団における、最小値、最大値、平均値を求める。

数値実験で用いる GP のパラメータを表 1～表 3 に示す。また、画像処理フィルタ集合 V_{input} の要素を表 4 に、画像処理フィルタ集合 $V_{filter} - V_{input}$ の要素を表 5 に示す。入力画像として図 11 示す 8 枚の風景画像を用い、それに対応する目的画像と重み画像を用意する。各重み画像は、道路標識の領域(白色領域)に重み係数 1.0 を、背景の領域(グレー領域)に重み係数 0.5 を、道路標識と背景の境界領域(黒色領域)に重み係数 0.0 を与えている。以上の条件において、20 回解探索を施行し結果を得る。

表 1. 基本パラメータ

変数	値
最大世代数: N_{gen}	500
母集団数: N	200
遺伝子長の最大値: L_{max}	5
遺伝子長の最小値: L_{min}	1
交叉率: p_{cx}	0.5
突然変異率: p_{mut}	0.2

表 2. GP_{eu} における追加パラメータ

変数	値
出力類似ノードによるブロート抑制の適用個体数: N_{B1}	100
単色画像出力ノードによるブロート抑制の適用個体数: N_{B2}	100
出力類似ノードによるブロート抑制の適用間隔: U_{B1}	5
単色画像出力ノードによるブロート抑制の適用間隔: U_{B2}	5

表 3. GP_{hl} における追加パラメータ

変数	値
遺伝子長の制限値: L_{lim}	15

表 4. 使用した葉ノード用画像処理フィルタ

入力数	フィルタ種類	閾値
0	元画像	
0	R 成分抽出	
0	G 成分抽出	
0	B 成分抽出	
0	H 成分抽出	
0	S 成分抽出	
0	V 成分抽出	

表 5. 使用した 1 入力画像処理フィルタ

入力数	フィルタ種類	閾値
1	ガウシアンフィルタ	
1	メディアンフィルタ	
1	2 値化	64
1	2 値化	128
1	2 値化	192
1	点膨張	
1	点縮小	
1	ソーベルフィルタ	
1	定数除算	0.5
1	定数乗算	1.5
1	定数減算	-25
1	定数加算	25
1	切り捨て	128
1	切り上げ	128
1	エンボス加工	
1	先鋭化	
1	色反転	
2	絶対値減算	
2	減算	
2	加算	
2	平均	
2	比較高値	
2	比較低値	



図 11. 風景画像に対する入力画像, 重み画像, 目的画像

5.2 実験結果

ブロート抑制の効果を比較した結果を図 12 に示す. 同図の遺伝子長における最大値, 平均値, 最小値は 20 回施行で得られる各値の平均である. この結果より, 提案法は解探索の初期から従来法に比べ遺伝子長を制限できていることがわかる.

次にブロート抑制による遺伝子長の短縮が実行時間に与える影響を比較した結果を図 13 に示す. この結果より, 従来法は不十分なブロート抑制のため解探索の後半で実行時間が増加しているのに対し, 提案法は実行時間の増加を抑えられていることがわかる.

最後にブロート抑制手法による解探索の影響を比較した結果を図 14 に示す. 同図の評価値における最大値, 平均値, 最小値は 20 回施行で得られる各値の平均である. この結果より, 提案法は従来法とほぼ同等の解探索性を示していることがわかる. しかし, 解探索後半の 100 世代では, 提案法は従来法より低い評価値の個体を母集団に持つことがわかる. この原因は, 極端に短い遺伝子の個体を母集団に多く抱えることにあると考えられる

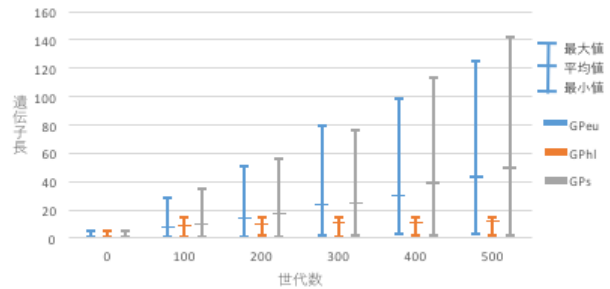


図 12. ブロート抑制の効果

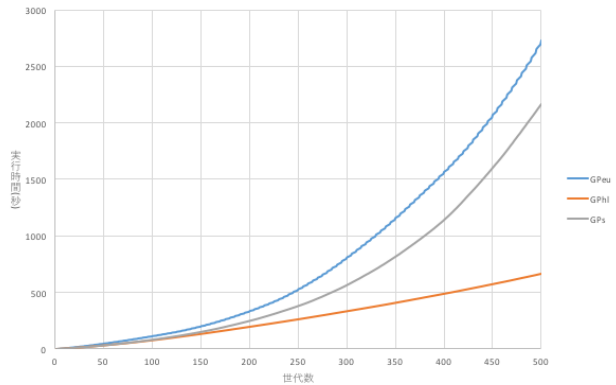


図 13. ブロート抑制手法の実行時間への影響

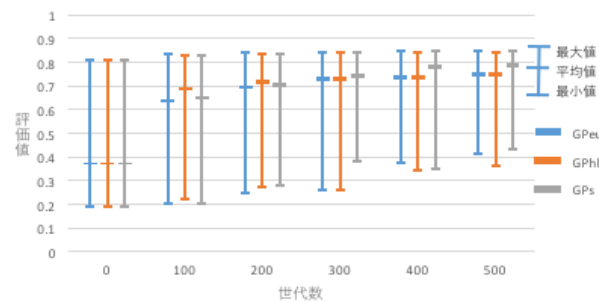


図 14. ブロート抑制手法の解探索への影響

6. おわりに

本稿では、遺伝子長制限交叉および遺伝子長制限突然変異を提案し、GPによる道路標識抽出へ適用した。数値実験により、提案手法を適用したGPは、従来のプロット抑制手法を用いたGPと同程度の解を得る一方で、従来法よりも実行時間を1/3程度に抑えられることを確認した。以上の結果から、提案法は従来法より優れたプロット抑制効果を期待できる。

今後の課題としては、

- 提案法における制限値 L_{lim} と解探索性能および実行時間の関係を明らかにすること、
- 今回使用した風景画像以外の道路標識画像に対する提案法の有効性を確認すること、
- 画像処理フィルタ集合 V_{filter} に与える基本画像処理フィルタの種類が提案法の有効性に与える影響を調査すること、
- 提案法における制限値 L_{lim} の決定方法について検討すること、

などがあげられる。

参考文献

- [1] 長尾智晴, 進化的画像処理, 昭晃堂, (2002).
- [2] 青木紳也, 長尾智晴, “木構造状画像変換の構築法 ACTIT”, 映像情報メディア学会誌, 53(6), pp.888-894, (1995).
- [3] 前園正宣, 小野智司, 中山茂, “遺伝的プログラミングを用いた画像処理フィルタ設計におけるパラメータ調整とプロット抑制”, Transaction of JSCES, Paper No.20060021, (2006).
- [4] 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, 数値モデル化と応用, Vol.3, No.2, pp.65-73, (2010).
- [5] 馬 菁野, 高木 英行, “対話型遺伝的プログラミングによる複合画像処理フィルタの設計”, 第2回進化計算学会研究会第8回進化計算フロンティア研究会, pp.106-111, (2012).
- [6] 前田 浩志, 小野 智司, 中山 茂, “道路標識抽出におけるネットワーク構造フィルタ自動設計手法の有効性の基礎検討”, 電子情報通信学会, ヒューマン情報処理, 109(471), pp.383-388, (2010).
- [7] 安藤 淳, 長尾 智晴, “複数のGPUを用いた超高速進化的画像処理システム”, 情報処理学会論文誌, 数値モデル化と応用, Vol.2, No.2, pp.113-121, (2009).
- [8] 西川 貴文, 吉田 純司, 齊藤 成彦, 藤野 陽三, “木構造状フィルタを用いたコンクリートのクラック抽出のためのロバストな画像処理システム”, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.599-616, (2007).
- [9] 中野 雄太, 長尾 智晴, “3次元画像処理自動構築システム 3D-ACTIT の提案とPET画像への応用”, 医用画像情報学会雑誌, 24(4), pp.119-125, (2007).
- [10] 藤嶋 航, 長尾 智晴, “GPによる構造最適化とGAによる数値最適化を併用した画像処理自動生成法 PT-ACTIT” 映像情報メディア学会誌, 59.11, pp.1687-1693, (2005).
- [11] A.Purohit, N.S. Choudhari, A. Tiwari, “Code Bloat Problem in Genetic Programming”, International Journal of Scientific and Research Publications, Vol.3, Issue 4, pp.1-5, (2013).
- [12] 太田寛志, 塩野充, “道路情景画像からの路面標識の抽出と認識について”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p406, (1996).
- [13] 松浦大祐, 山内仁, 高橋浩光, “特定色判別と領域限定を用いた円形道路標識の抽出”, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.J85-D-II, No.6, pp.1075-1083, (2002).