

進化圧を自動調整するホスト/パラサイト共進化型遺伝的アルゴリズム

A Host-Parasite Genetic Algorithm Controlling the Selection Pressure

三井 富雄
Tomio MITSUI

有田 隆也
Takaya ARITA

名古屋大学 大学院人間情報学研究科
Graduate School of Human Informatics, Nagoya University

Hillis introduced the idea of using coevolving parasites to evolve test cases for sorting networks. We believe that harmonious evolution of hosts/parasites is essential for improvement of the performance of this type of host-parasite genetic algorithms (HPGA). This paper proposes a host-parasite genetic algorithm with *thrust reversing* (HPGA-TR), in which the selection pressure is controlled automatically in the parasite population. It has been shown that *thrust reversing* improves the evolution of solutions in the evaluation experiments.

1. はじめに

共進化型 GA は、複数の集団がお互いの適応度に影響を及ぼし合うものであり、つまり、動的な適応度地盤[有田 00]に基づいて問題を解くものである。共進化型 GA は、集団間の適応度の相関関係に応じて、競合型と協調型に分けることができる。競合型では、Hillis による**ホスト/パラサイト共進化型 GA (HPGA)**の成果[Hillis 92]が重要である。彼はソーティングネットワークの構造をホストの染色体で表し、そのホストの性能を評価するためのソーティングされる入力データをパラサイトの染色体で表現している。そして、ソーティングネットワークがソートできる入力データを増やすにつれて、入力データもソーティングされにくいものに進化するというメカニズムを共進化により自然に実現し、注目すべき評価結果を得ている。彼の提案した方式に代表される HPGA の特長は以下の 2点である。

- (1) ホストの進化に応じて適度な選択圧がパラサイトの進化によって得られるので、局所解に陥りにくく、探索性能の向上が可能である。
- (2) ソーティングネットワークのような適応度を完全に評価するためにはかなりの計算量が必要となる問題において、部分的な評価が自然に実現されるので効率的である。

共進化型 GA 一般において言えることであるが、効率的な進化を実現するには、進化の歩調を合わせる事が重要である。HPGA においては、多くのテストデータを正しくソートできたネットワークほど適応度を高く、多くのネットワークにおいて正しくソートされなかったテストデータほど適応度を高く設定するため、進化におけるいわゆる「赤の女王」の典型的状態の選択圧が生じる。しかし、HPGA では、ホストとパラサイトの進化の進み具合に対する保証はなく、たとえば、テストデータが急速に難しくなりすぎて、ホストに対する適切な選択圧がかからなくなる状況が起こりうる。そこで、ホストの効率的な進化を促進するために、ホストとパラサイトの進化の相対的な進み具合に応じて、パラサイトの進化における選択圧を自動調整する機能を HPGA に導入することを検討する。本稿では、そのような機能としてもっともシンプルな「逆噴射」機能を導入したホスト/パラサイト共進化型 GA を提案し、その性能を評価する。

2. 「逆噴射」機能を有する HPGA

「逆噴射」機能とは、パラサイトの適応度の平均がホストの適

応度の平均よりある一定以上離れている場合、多くのホストがうまく処理したパラサイトほど適応度が高くなるように、パラサイトの適応度の計算方法を変えるものである。これにより、パラサイトの進化の方向を一気に逆転させてホストとの進化の歩調を合わせることを狙う。このような「逆噴射」機能を有する HPGA (HPGA with *thrust reversing*, HPGA-TR) のアルゴリズム例を以下に示す。比較評価のために「逆噴射」機能以外についてはパラメータ設定も含めて[Olsson 98]の方式に準じたものとしている。

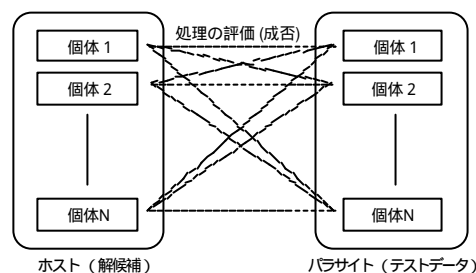


図 1 適応度の評価

- (1) 初期設定
ホスト、パラサイトの 2 集団 (各 N 個体で構成) を作成。
- (2) 適応度計算
ホスト個体とパラサイト個体のすべての組み合わせに関して評価を行う (図 1)。ホストの適応度は処理に成功したパラサイト個体の総数、パラサイトの適応度はそのパラサイトの処理に失敗したホストの総数とする。もし、パラサイトの適応度平均がホストの適応度平均を T_{level} 以上上回っている場合は、パラサイトの適応度はそのパラサイトの処理に成功したホストの総数とする。
- (3) 遺伝的操作
 - a) 選択 : トーナメント選択によってホスト個体、パラサイト個体を N ずつ選択。
 - b) 交叉 : 半分のホスト個体でランダムな位置で一点交叉。
 - c) 突然変異 : ホスト個体で各遺伝子座において一定の確率で他のランダムな値に突然変異。パラサイト個体において一定の確率で 2 つのランダムな位置の遺伝子を交換。
- (4) 世代交代
現在の集団と置換。
- (5) 終了
最適解を発見するか終了条件を満たしていれば終了。そうでない場合は 2) に戻る。

3. 評価

HPGA-TR をソーティングネットワーク設計(6, 7入力)に適用して評価した。ソーティングネットワーク(図2)とは、任意の順序のデータを入力すると、データがネットワーク上を流れていき、最終的にソートされたデータ列が出力されるものであり、縦線が数の大小比較・交換を行うエレメントであり、縦線の上の要素が下の要素より大きければ交換される。縦線の位置情報をホスト個体の各遺伝子が表し、入力するデータ(1から6の整数)列をそのまま遺伝子としてパラサイト個体で表した。用いたパラメータを表1に示す。 T_{level} はここでは50とした。

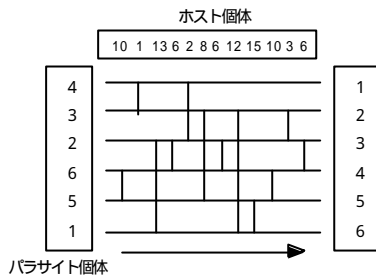


図2:ソーティングネットワーク(6入力)

表1:パラメータ設定

	遺伝子数	個体数	交叉	突然変異率
ホスト	12, 16	100	有	0.05
パラサイト	6, 7	100	無	0.15

表2は、HPGA と HPGA-TR に関して、各20回試したうちの最適解に収束した試行回数とその場合の収束するまでの評価回数(=世代数 $\times 10^4$)を記している。同表より、HPGA-TR が最適解を探索する性能を向上させていること、収束までの平均評価回数はほぼ同様なのがわかる(HPGAの結果に関しては[Olsson 98]とほぼ同じになっている)。図3、図4は、HPGA と HPGA-TR に関して、「ホストの多様性」と「パラサイトの難度」の平均の推移を示している(横軸はすべて世代)。前者は、ホスト個体の同じ遺伝子座の遺伝子をランダムにペアで100組取り出し、ペア間のユークリッド距離を合計することにより計算し、後者は、ソートされていないすべての数について正しい位置からの距離を合計することによって計算している。また、図4(b)中の下端の短い線は「逆噴射」が働いている期間を示している。両図より HPGA-TR では、ホストの多様性が一気にではなく徐々に抑えられていく傾向にあることがわかる。また、早い世代において「逆噴射」が集中的に働くことによりパラサイトの難度が抑えられていることがわかる。これによって、ホストとパラサイトが協調を合わせて進化するようになり、結果として、局所解に陥ることが減ったと考えられる。図5は T_{level} の値を変化させたときの20試行中の収束回数を調べている。同図より、「逆噴射」の効果は T_{level} の値が50の近辺のときに最大になることがわかる。大きすぎてもパラサイトがなかなか難しくならずホストの適度な進化が実現しないものと考えられる。

	入力データ数6		入力データ数7	
	収束回数	収束までの平均評価数	収束回数	収束までの平均評価数
HPGA	16	1.9×10^6	1	1.3×10^7
HPGA-TR	20	2.4×10^6	5	9.7×10^6

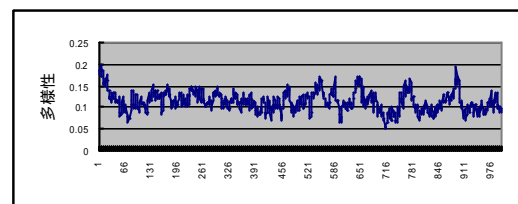
表2 HPGA と HPGA-TR の評価結果

4. おわりに

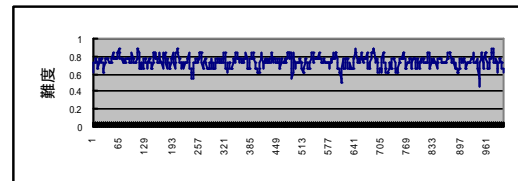
解候補とテストデータの進化速度を自動調節する機能をホスト/パラサイト共進化型遺伝的アルゴリズム(HPGA)に導入した「逆噴射」機能を有する HPGA (HPGA-TR) を提案し、その効果をソーティングネットワークに適用して検討した。その結果、パラサイトの進化が特に初期世代において抑制され、最適解が効率的に探索されることが示された。

参考文献

- [有田 00] 有田: 動的適応度地形の概念に基づいた生命性に対する構成論的アプローチ, *科学哲学*, 33, 2, 73-91, 2000.
- [Hillis 92] Hillis, B.: Co-Evolving Parasites Improve Simulated Evolution as an Optimization Procedure, *Artificial Life II*, 313-324, 1992.
- [Olsson 98] Olsson, B.: Evaluation of a Simple Host-Parasite Genetic Algorithm, *Evolutionary Programming gVII*, 53-62, 1998.

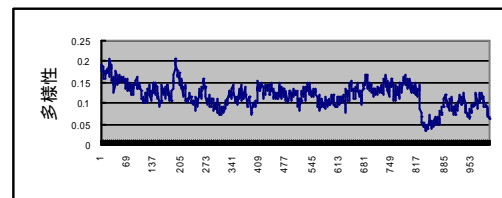


(a) ホストの多様性

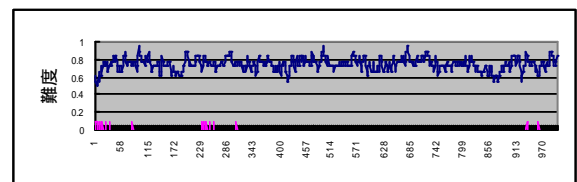


(b) パラサイトの難度

図3 HPGAにおける集団の特性



(a) ホストの多様性



(b) パラサイトの難度

図4 HPGA-TRにおける集団の特性

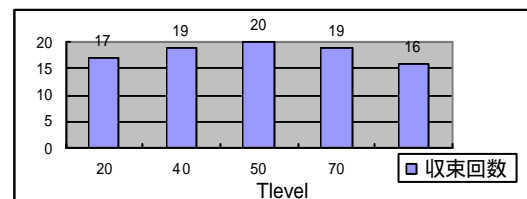


図5 T_{level} を変化させたときの収束回数(入力データ数6)