

2R-9 遺传的探索に基づく”虫”の進化(2) 遺伝アルゴリズムによる改良

伊庭齊志 秋葉澄孝 佐藤泰介
電総研 推論研究室

1. はじめに

我々は「虫」のシミュレーションを用いて、捕食行動の適応進化の実現を試みている[秋葉92]。前稿における遺传的探索の基礎は無性生殖と突然変異であった。本稿では、2個体からの生殖による遺伝子の交差オペレータを導入し、進化のアルゴリズムを拡張する。これにより進化の効率が向上したことを統計的に示し、交差オペレータの有効性を確認する。さらに、生殖の近接性という概念の導入により、複数種の進化と棲み分けの実現が可能になることを示す。

2. 遺伝アルゴリズムに基づく改良

「虫」の進化に用いられる遺传的探索手法を、交差オペレータの導入により拡張する。生物学的なアナロジーで言えば、前稿での探索手法が無性生殖と突然変異に依存していたのに対し、この手法は有性生殖と組替えに基づくものである(実際には性の概念は利用していないが、簡単のため以下では複数個体からの生殖という意味で有性生殖と呼ぶ)。この実現のために「虫」の生殖可能性の概念を、しきい値以上のエネルギーを持つ成熟した「虫」が一定の確率で生殖できると変更する。これは各世代での生殖可能な「虫」の数を増やし、有性生殖の回数を増やすためである。以上から拡張した「虫」の進化のアルゴリズムは、次のようになる。

- STEP1: 初期世代の虫を生成する
- STEP2: 生殖可能な虫の集団BUGSを求める
- STEP3: BUGSに複数の虫が含まれるなら、確率 P_{sex} で有性生殖をおこしBUGSから取り除く
- STEP4: BUGSに虫が残っているなら、確率 P_{sex} で無性生殖を行いBUGSから取り除く
- STEP5: 世代を1つ更新してSTEP2へ

STEP3において、BUGSからペア(parent1, parent2)が取り出されるが、各々の個体が選出される確率を P_{sex} としている。このとき新しい虫(child1, child2)と生殖後の親(parent1', parent2')は次のようになる。

- parent1' : 位置はparent1の位置
エネルギーはparent1の半分
遺伝子はparent1の遺伝子
- child1 : 位置はparent1の位置
エネルギーは (parent1+parent2) / 2
遺伝子はparent1とparent2の遺伝子の交差と突然変異によるもの
- parent2', child2についても同様である。

さらにSTEP2, 3で用いられる生殖可能条件について、近接性の概念を入れて拡張することも考えられる。これは生殖可能なペアのうちで、互いの距離がしきい値以下の

ペアのみ有性生殖の対象とするというものである。以下ではこのように拡張した「虫」の探索手法を「虫型GA」と呼ぶ。

3. 実験結果

本節では、有性生殖に基づく「虫型GA」の有効性を示すための実験について説明する。

まず、前稿と全く同じ環境下で交差オペレータの影響を比較した。ここで比較のために次のような評価値を用いた。世代 t でのパフォーマンスを、

$$Performance(t) = \sum_{i=0}^9 Perf(t-i)$$

世代 t で捕食されたバクテリア総数

$$Perf(t) = \frac{\#Bac(t) \times \#Bug(t)}{\#Bac(t) + \#Bug(t)}$$

で定義する。つまり過去10世代までに集団としてどのくらい有効にバクテリアを食べたかを示す。

世代ごとのパフォーマンスをFig. 1に示す。図から明らかのように、有性生殖の方が優れていることが分かる。実際49900世代でのパフォーマンスの平均の差について t -検定を行うと、5%の危険率で有性生殖の方が無性生殖よりも有意に優れていることが示された(Table 1を参照せよ。5%両側検定、自由度17、 t -値 2.3842 > 2.110、 f -値 3.140 > 2.319)。

次に生殖可能な判定に近接性の条件を導入した実験を行った。この場合、従来の手法では困難であった直進虫と巡航虫の棲み分けが可能となった。Fig. 2は段階的な集団の成長過程を示す。左下のバクテリアの濃度の高い領域に巡航虫が集中し、他の広い領域(バクテリアの密度は低い)には直進虫が進化して棲み分ける。

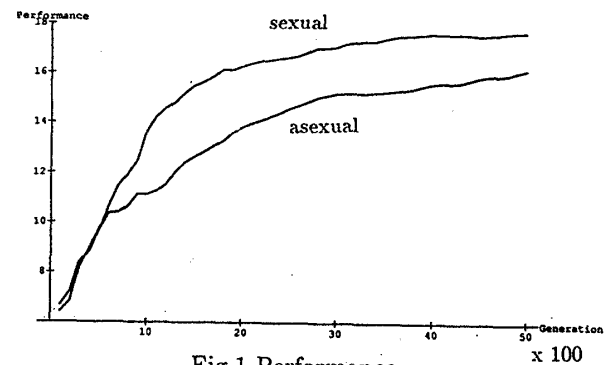


Fig.1 Performance

4. 考察

前節では、有性生殖と近接性の条件の導入による虫の進化的探索の拡張を説明した。Table 2は様々な環境での実験の結果を示す。ここでは、無性生殖 (asexual)、有性生殖 (sexual)、近接性条件を導入した有性生殖 (sexual, proximity) の3手法について4種類の環境での適応進化の様子を比較した。ここでの進化の目的は、バクテリアの濃度の違いのある領域で直進虫と巡航虫が適切に棲み分ける (sharing) ことである。初期条件は、全くランダムな虫群 (Random) と、すでに進化した直進虫のみからなるもの (Straight) との2種類がある。さらに環境内にバクテリアの真空地帯 (empty area) を設定することによる違いの影響も比較した。表から明かなように近接性の条件を導入した有性生殖は、学習の効率化と適切な棲み分けを実現する。特に真空地帯の無いような学習困難な環境において、その効果は顕著であった。

	Asexual mutation	Sexual crossover mutation
Count	11	11
avg. of # mut.	257.82	255.82
avg. of # cross.	0.0	75.18
Average	16.05	17.28
Variance	1.81	0.78
f-value		2.32
t-value		2.38

Table 1. T-test

5. おわりに

本稿では「虫」の捕食パターンの進化のシミュレーションを拡張して「虫型GA」を構築した。さらに実験によって効率化の有効性と棲み分けの実現を示した。本稿で述べた探索手法は、GAのオペレータを探索方向に適用するという点で従来のGAとは異なる。この「虫型GA」は制御部分にGAのオペレータを適用するメタGAの手法 [伊庭91] の拡張である。「虫型GA」を用いた一般的な問題解決及び探索能力の分析は今後の興味ある課題である。

参考文献

- [伊庭91] 伊庭齊志: "自己参照表現を用いた遺伝アルゴリズムの拡張について", 人工知能学会研究会, SIG-F/H/K/9101-5, 1991
- [秋葉92] 秋葉澄孝他: "遺伝的探索に基づく「虫」の進化 (1) ビジュアルによる行動解析", 情報処理学会第44回全国大会, 1992

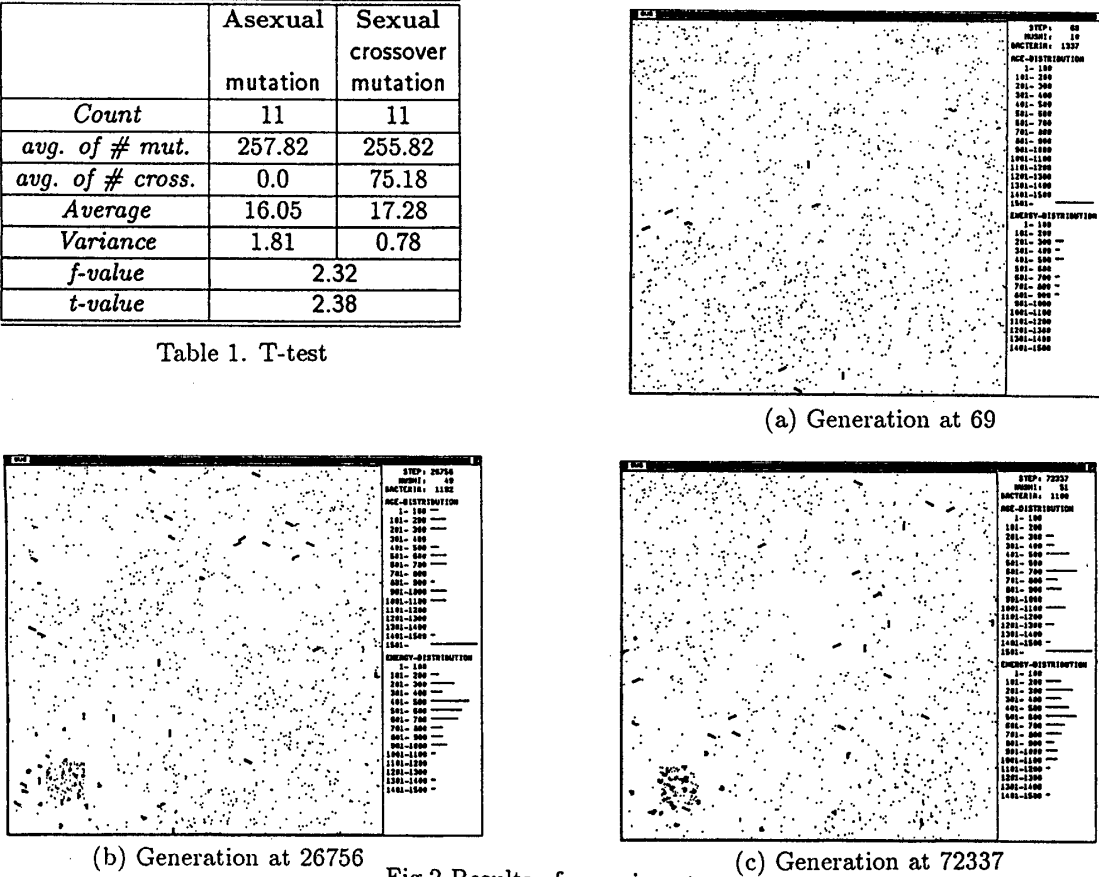


Fig.2 Results of experiments

Task			Asexual mutation	Sexual crossover mutation	Sexual Prox. crossover mutation
initial	goal	empty area			
Random	Sharing	○	○	○	○
Straight	Sharing	○	○	○	○
Straight	Sharing	×	△	△	○
Random	Sharing	×	△	△	○

△ difficult ○ possible ○ fast ○ faster

Table 2. Strategy comparison