

2人ゲーム戦略の共進化について¹

4 A F - 8

山本 正敏 元木 達也²新潟大学³

1 はじめに

GAにおいて個体間の競合によって適応度を決める場合は、絶対的な適応度の基準がなく進化のバイアスが一定ではないため、進化バイアスが弱い遺伝的操作だと(共)進化が起こりにくいと考えられる。

そこで、本論文では特に2人ゲーム戦略をお互いの対戦を通して進化させる場合を取り上げ、進化バイアスが強い遺伝的操作を導入する。そして、Tic-Tac-Toe(三目並べ, TTT)に関して、導入した遺伝的操作の効果を単純な1点交叉やランダムな突然変異によるものと比較し、実際に競合によって共進化が起こることを確認する。さらに、共進化が起こるための効果的な対戦のさせ方について検討する。

2 「進化バイアスの強い遺伝的操作」の考え方

2人ゲーム戦略をGAで進化させる場合、個体の表現方法にもよるが、単純に遺伝子座毎の最適化を行なうことによって個体全体として良い方向に進化することが多い。その様な個体表現の下で互いの対戦を通して世代交代を繰り返す場合には、各個体の各遺伝子が勝敗にどれだけ寄与したかの統計をとり、その結果を遺伝的操作に反映させれば迅速な進化につながると考えられる。

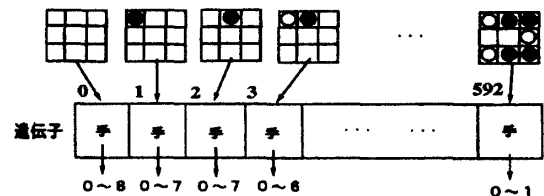
そこで以下では、交叉としては、遺伝子座毎に両親の遺伝子の戦績を比較し優れた方の遺伝子を1つの子に集中するようなものを考え、突然変異としては、戦績の悪さによって突然変異率が変化するようなものを考える。

3 TTT ゲーム戦略の表現、遺伝的操作

以下では、2人ゲームとしてTTTだけを考え、次の様なGAの実験をする。

個体の表現 Rosin&Belew[1]に倣って、各遺伝子座には盤面の状態を対応させ、各盤面での次の一手(非負整数で表す)を並べたものを個体の表現とする。その際、勝敗の決まった盤面、次の一手が1つしかあり得ない盤面に対する遺伝子座は設けない。また、回転や反射によって同一の盤面になるも

のは全て1つの遺伝子座で表す。



適応度の計算 各個体をしばらくの間(訓練用戦略と、または互いに)対戦させ、その戦績を基に次の適応度を定める。

$$\text{raw fitness} = \frac{\text{勝ち数} + \text{引き分け数}/2}{\text{対戦数}}$$

$$\text{std. fitness} = (\text{集団内での最大の raw fitness}) - (\text{その個体の raw fitness})$$

$$\text{適応度} = \frac{1}{1 + 20 \times (\text{std. fitness})}$$

交叉・突然変異の方法 適応度計算の時に行なわれる対戦の際に、各個体の遺伝子がどれでだけ勝ちゲーム/負けゲーム/引き分けゲームに使われたかの統計(すなわち、各遺伝子の戦績)をとり、これを基に各遺伝子の

$$\text{敗着率} = \begin{cases} \frac{\text{敗数} + \text{引き分け数}/10}{\text{使用された回数}} & \text{if 戦績あり} \\ 0.5 & \text{if 戦績なし} \end{cases}$$

を計算する。この敗着率を利用すれば、「進化のバイアスが強い遺伝的操作」として、次の様なものを考えることができる。

- **greedy 交叉:** 両親の遺伝子のうち敗着率の低いものを片方の子に集まる様にする。但し、戦績の無かった遺伝子同士については交換は行なわない。
- **率可変突然変異:** 戦績のあった遺伝子については $0.5 \times$ 敗着率を、戦績の無かった遺伝子については 0.066 を突然変異率とする。

また、比較のため、次の様な遺伝的操作も考える。

- **1点交叉:** ランダムに与えられた交叉点(1点)以降を交換する。
- **率固定突然変異:** 各遺伝子の突然変異率を一律 0.066 とする。

¹The co-evolution of two-players game strategies

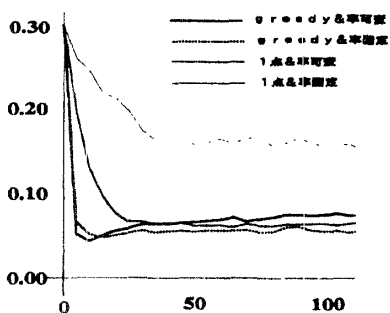
²Masatoshi Yamamoto and Tatsuya Motoki

³Niigata University

4 実験結果

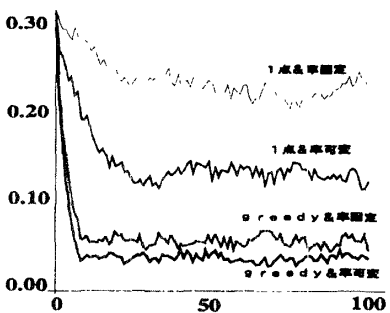
4.1 greedy 交叉、率可変突然変異の有用性

訓練用としてランダムに生成され固定された128個の戦略との対戦を通して適応度を計算することにして、前節で挙げた交叉、突然変異の4つの組合せに対して世代交代を繰り返すと、世代が進むにつれて、ランダムな相手に対する各世代の最良個体の敗率の平均は次の図の様に变化した。(集団の大きさを128として10回実行の平均をとった。)



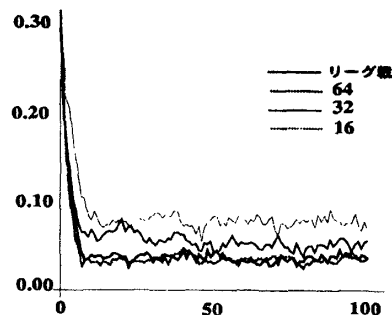
4.2 共進化は起こるか?

適応度を計算する際、訓練用の固定された戦略との対戦ではなく、集団内でリーグ戦を行なうこととして前節4.1と同様の実験を行なうと、世代と共に、ランダムな相手に対する各世代の最良個体の敗率の平均は次の図の様に变化した。



4.3 効果的な対戦のさせ方について

適応度は個体の本来の性能を十分に反映/近似したものであればよい訳だから、適応度計算のためにリーグ戦を行なう必然性はない。そこで、試しに集団の大きさを128とし、各個体の対戦数(ここで、先手後手を交代して計2局を行なうのを1回の対戦と数える)が平均的に64, 32または16となる様にランダムに対戦を組んで、それぞれ、greedy交叉と率可変突然変異による前節4.1と同様の実験を行なった。この実験結果(下図)によれば、対戦数が64でもリーグ戦の場合に匹敵する共進化が起こっている。



次に、greedy交叉と率可変突然変異を用いた場合、 5×10^6 回の対戦を行なうまでに無敗戦略(i.e. ランダムなどな相手に対しても負けない戦略)が出現する割合、無敗戦略が出現するまでに行なわれた対戦の総数が、集団の大きさと

$$\text{対戦率} = \frac{\text{各個体の対戦数}}{\text{集団の大きさ}}$$

によってどのように変わるかを調べた。(下表、5回の実行の平均。)これによれば、集団の大きさを512、対戦数を128とした時が、最も計算効率が良いことが分かる。

集団の大きさ	対戦率				
	リーグ戦	1/2	1/4	1/8	1/16
1024	3146/1.0	1494/1.0	721/1.0	439/1.0	479/1.0
512	1062/1.0	430/1.0	317/1.0	828/0.8	1887/0.8
256	1425/0.8	877/0.8	2133/0.8	-/0.0	-/0.0
128	-/0.0	3165/0.2	-/0.0	-/0.0	-/0.0

(各エントリの表示 a/b において、a は総対戦数/1000 を、b は無敗戦略が出現する割合を表す)

5 おわりに

2人ゲーム戦略をお互いの対戦を通して進化させるための交叉、突然変異を導入し、その効果を確認した。今後の課題としては次の様な事柄がある。

- greedy交叉と率可変突然変異を組み合わせると急激な進化を遂げるが、同時に種の多様性が失われて無敗戦略が出現しにくくなると考えられる。無敗戦略を確実に探り当てる手法が必要である。
- 効果的な対戦のさせ方として今回はリーグ戦を基準に考えたが、他にも shared fitness[1], tournament fitness[2], ... という考え方もある。これらの有効性を調べる。

参考文献

- [1] C. D. Rosin and R. K. Belew: Method for Competitive Co-evolution: Finding Opponents Worth Beating, in Proc. of the Sixth ICGA, pp.373-380, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1995.
- [2] P. J. Angeline and J. B. Pollack: Competitive Environments Evolve Better Solutions for Complex Tasks, in Proc. of the Fifth ICGA, pp.264-270, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1993.
- [3] 上田, 下原&伊庭(監): 人工生命の方法 — そのパラダイムと研究最前線 —, 工業調査会, 1995.