

電荷モデルを利用した競合共進化アルゴリズムによる詰碁の解獲得 Competitive Coevolutionary Algorithm with Electric Charge Model for the Tsumego game

大島 真^{*1}
Makoto OSHIMA

山田 孝治^{*2}
Koji YAMADA

遠藤 聡志^{*3}
Satoshi ENDO

^{*1} 琉球大学
Univ. of the Ryukyus

^{*2} 琉球大学
Univ. of the Ryukyus

^{*3} 琉球大学
Univ. of the Ryukyus

In this study, we will try to calculate the correct sequence for *Tsumego* using Competitive Coevolutionary Algorithm and evaluate the enhanced feature that uses the electric charge model of this algorithm. An initiative strategy and a passive-strategy in *Tsumego* will be assumed to be the competitive groups. The two competitive groups evolve through coevolution, thus we can calculate the correct sequence of *Tsumego*. The enhanced feature proposed in this study is to assume that the *Go* pieces in *Tsumego* are electric charges. The density of each electric charge generated in this assumption is used to calculate an individual fitness value. Furthermore, gene manipulation is adjusted by the electrical potential distribution generated by the electric charge. The setup of the former makes the formula for computing the individual fitness value simple, and the setup of the latter makes Competitive Coevolutionary Algorithm more efficient.

1. はじめに

競合共進化アルゴリズムとは、生物種間の闘争による進化プロセスから着想を得た適応型探索アルゴリズムである。このアルゴリズムは、相反する目的を持つ競合集団が、相乗的に互いの進化を促進するという特徴を持つ[1]。この特徴に着目し、「競合相手に対する適応」を「問題に対する最適化」と捉えることにより、競合共進化アルゴリズムを最適化問題へ適用する研究が行われている[2],[3],[4]。特に Fitness landscape が明示的に決定できない種々の問題に対して、集団中の個体評価を集団間の競合結果として与えることで、有効に解を獲得することが示されている[2],[3],[4]。

しかしながら、競合共進化アルゴリズムにおける探索試行は、他の遺伝的アルゴリズム同様、交叉、突然変異といった確率的探索に基づいたものである為、染色体の長さや遺伝子座に収まり得る値の数など、構成要素の増加に伴い探索空間が累乗的に拡大する。特に異種間同士の相互作用が重要である競合共進化アルゴリズムでは、一方の集団の進化の遅れ、および局所解への陥りが、共進化全体の停滞を引き起こす。競合共進化においては、如何に探索空間の拡大を抑え、各集団の探索試行回数を一定範囲内に収めるかが課題となる。

筆者らは、競合共進化アルゴリズムの対象問題として詰碁を採用し、正解手順の獲得、及び競合共進化アルゴリズムの拡張機能として自身の提案手法の有効性を検証している[4]。本稿では、先の研究と同じく、対象問題を詰碁として、また別の新たな競合共進化アルゴリズムの拡張機能である基石を電荷と見立てた拡張機能について、その有効性を検証する。

囲碁とは、2人制ボードゲームであり、詰碁とは、囲碁の部分的な死活問題のことである。囲碁においては、より強いコンピュータ囲碁の実現方法の一つとして、電荷モデルを用いた局面解析の研究が行われている[5]。本研究では同様に電荷モデルを用い、対象問題とした詰碁から数値的な特徴を導き出し、その特徴を利用することで競合共進化アルゴリズムの拡張機能を実現する。この拡張機能によって探索空間の拡大を抑え、効率的で安定した競合共進化アルゴリズムの実現を目指した。

2. 競合共進化アルゴリズム

2.1 競合共進化の概念

自然界において、他の繁殖集団の生物と関わり、その影響で集団の遺伝子が変化し、個体の性質が進化していく過程を共進化という[6],[7]。特に競合関係にある生物同士が他の生物に対して優位に立とうとする結果、相互作用に関連している性質が互いに進化する現象を競合共進化という。Fig. 1 は二つの異種集団間の競合進化を示している。異種間競合共進化の場合、両集団の目的は相反しており、競合相手個体に対して目的を達成した個体は優位個体と判断される。各異種個体間における同様の優劣比較により、一方の集団は目的をどれだけ達成したかの相対評価がなされ、もう一方の集団はその目的の達成を如何に妨げるかが相対的に評価される。

結果的に、両集団とも各世代の競合相手に対する優良個体集団が次世代へと存続することとなる。

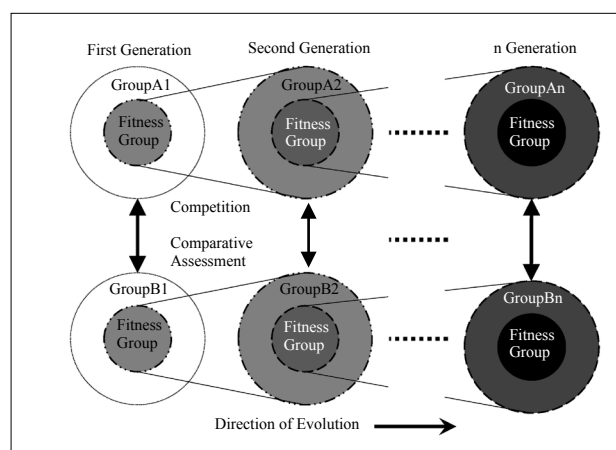


Fig. 1 競合共進化の概念図

^{*1} 琉球大学大学院 理工学研究科 総合知能工学専攻
E-mail:mako10@eva.ie.u-ryukyu.ac.jp

3. 電荷モデルの実装

電荷モデルの実装方法を以下に示す。本実験での電荷モデルは、実験の試行に則した形式で実装しており、必ずしも一般的な電荷モデルと一致するものではない。

3.1 電荷および電位の実装

本実験での、電荷および電位の定義を以下に示す。

1. 黒石を+極の電荷、白石を一極の電荷とする。
2. 電荷は交点にかかる。
3. 電荷は基本電位 b を持つとする。基本電位は、電荷が周囲に与える電位の計算に用いられる。
4. 電荷が置かれた交点からの市街地距離を d として、周囲の各交点にかかる電位 v の算出式を式(1)とする。隣接する交点間を市街地距離 $d=1$ とする。電位の絶対値が 1 以下となる場合は切り捨てとする。

$$v = b/2^d \quad (1)$$

5. 一つの交点に対して複数の電荷から電位を与えられる場合、その交点にかかる電位は各電位の総和とする。

黒石の基本電位 $b_i=8$ 、白石の基本電位 $b_p=8$ とした場合の例を Fig. 2 に示す。

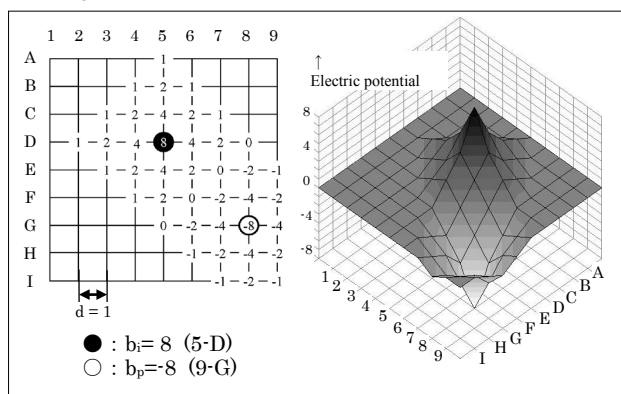


Fig. 2. 電位の実装例

3.2 電荷密度の実装

本実験での、電荷密度の定義を以下に定義する。

1. 電荷密度は、+極の電荷に基づく cd_i と、-極の電荷に基づく cd_p を個別に設定する。 cd_i は+極の電荷に由来する電位のみによって算出する。対して cd_p は-極の電荷に由来する電位のみによって算出する。
2. 同極の電位の総和を v_sum 、同極の電位がかかる領域を v_area として、電荷密度 cd は式(2)で求められる。

$$cd = v_sum / v_area \quad (2)$$

電荷密度(+)の例を Fig.3 に示す。左図と比べて、右図の方が 2 点の黒石間の距離が近い為、結果として電荷密度 cd_{i1} より cd_{i2} が大きくなる。

3.3 電位分布の実装

後に扱う問題 1 の電位分布を Fig.4 に示す。左下図は、電位 v の高低を示したものである。また右下図は、その電位 v の変化量 v' を示したものである。分布図においては濃淡が濃い程、高い値を示す。

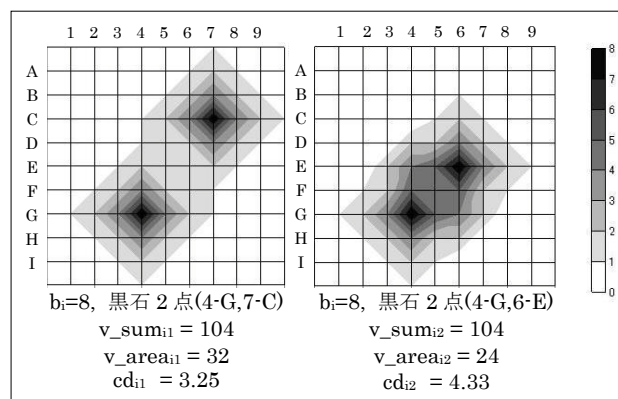


Fig. 3. 電荷密度の例

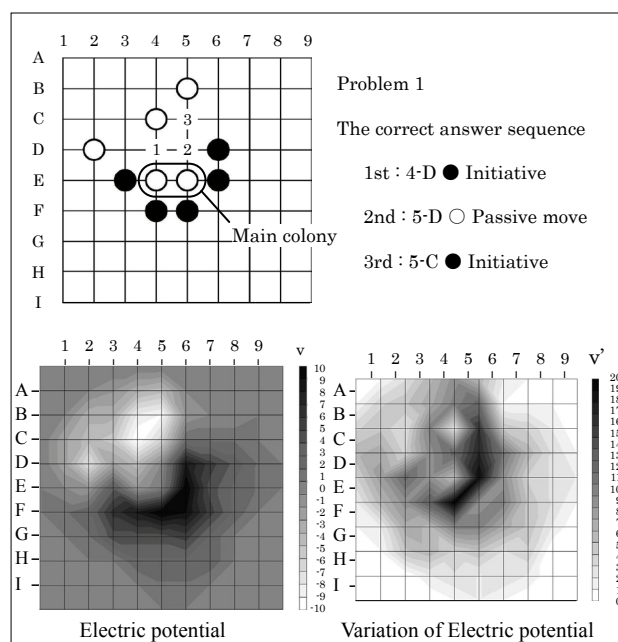


Fig. 4. 問題 1 とその数値的特徴

4. 詰碁への適用実験

詰碁は、各局面の最善手によって最適戦略が構成される上、各局面における探索空間が広い為、最適戦略の獲得が難しい問題といえる。

4.1 詰碁

詰碁とは、碁盤と碁石を使って先手と後手が交互に自分の色の石を碁盤の上に置いていく一人用パズルゲームである。

詰碁の目的は二種類に分けられる。一つは黒石が白石を仕留める「白死」、もう一つは黒石が生き残る「黒活」である。今回、競合共進化の適用にあたっては、「白が死んだ」と、規定回数で結果が明示される理由から、白死のタイプの問題を対象とした。また、ここでは 9×9 (交点 81 個) の盤において実験する。

4.2 詰碁問題に対するモデル設計

- ・ 個体: 戦略を個体とする
- ・ 戦略: 手の系列を戦略とする
- ・ 集団: P_1 を先手戦略集団 (黒石)
 P_2 を後手戦略集団 (白石) とする
- ・ 個体のコーディング: 1 戦略は、優先順位順に並んだ手の系列によって構成されている (置石パターン総数 81)

Fig. 5 に戦略のコーディング例を示す。Fig.5 において、

第 0~80 遺伝子座は 1 手目における動作の優先順位を示しており、各遺伝子座に収まっている値は各優先順位における置き石の位置(交点)を示している。

対戦時は、優先順位順に動作を選択する。先手(黒石)ならば白を囲む手を実行手とし、後手(白石)ならば、黒石から逃げる手を実行手と決定する。このコーディングにより、ゲームが常に実行可能となる。

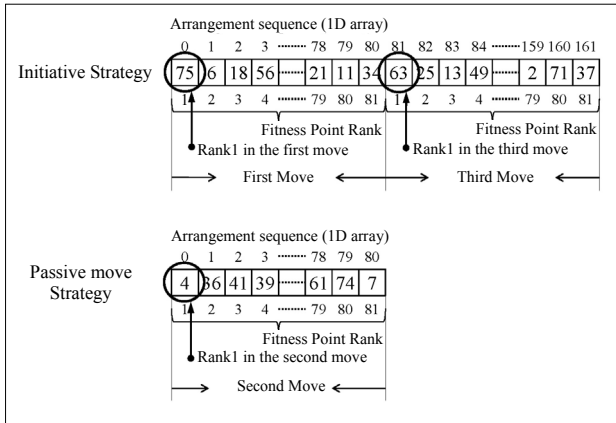


Fig. 5. 個体のコーディング

4.3 提案手法の拡張

電位分布を用いた提案手法の内容を以下に示す。

(1) 電位分布による、遺伝子座に収まり得る値の選別

原則、遺伝子座に収まり得る値は盤の交点(0~80)である。その 81 種の交点について、局面ごとに現れる数値的特徴(電位分布)を用い、正解手順の候補となる交点の選別を行う。選別の具体的な処理としては、除外された交点は、着手不可能手としてマスキングし、後の遺伝操作に使用しないものとする(Fig. 6)。本実験で扱う選別方式は以下の 3 種とした。

- 方式 1. 正電位を帯びた交点を正解手順の候補として残す。
- 方式 2. 負電位を帯びた交点を正解手順の候補として残す。
- 方式 3. 電位の変化量が大きい交点を正解手順の候補として残す。但し閾値はそのときの電位分布のスケールの 50%を超えるラインとする。

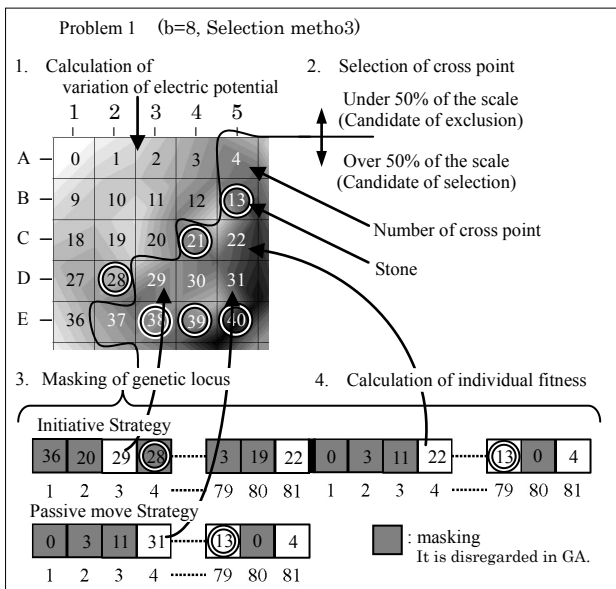


Fig. 6. 遺伝子座のマスキング

(2) 適応度

先手戦略の適応度 F_i の算出式および後手戦略の適応度 F_p の算出式は次の通りである。(但し、 k_1, k_2, k_3 、は定数、主コロニーとは取られた時点で白の負けが確定する石の集まりと定義する。)

$$F_i = -(k_1 * (\text{主コロニーの白石の電位の総和}) + (\text{主コロニー以外の白石の電位の総和}) / v_{p_area} + k_2(\text{白石獲得数})) \quad (3)$$

$$F_p = -F_i \quad (4)$$

4.4 GA オペレータ

GA オペレータは、個体コーディングに応じたオペレータを採用する。

- ・ 一点交叉: 一手毎の染色体を交叉させる。
- ・ 突然変異: 一つの染色体内において、2 つの遺伝子座をランダムに選び、其々の位置を交換する。

4.5 問題設定

詰碁問題の中から、3 手詰め問題を採用する。本実験で用いる問題は、問題 1 (Fig.4) である。競合共進化アルゴリズムの適用実験におけるパラメータを Table1 に示す。

Table 1. パラメータ

一集団個体数	16
サンプリング数	10
交叉率	0.2
突然変異率	0.2
GA オペレータ最大適用回数	10 × T (競合世代数)

5. 結果と考察

実験結果を基に、競合共進化によって最適解が得られるまでのプロセスを説明する。

グラフ (Fig. 7) の値は、先手戦略の適応度を示す。プラス方向の値は先手戦略の適応値の高さを示し、マイナス方向の値は、後手戦略の適応値の高さを示す。

- (A) 後手(2 手目)が交点 4-D を獲得。後手優勢。
 - (B) 先手(1 手目)が 4-D を獲得。先手優勢。
 - (C) 先手(3 手目)が 5-D を獲得。先手優勢。
 - (D) 後手(2 手目)が 5-D を獲得。後手優勢。
 - (E) 先手(3 手目)が 5-C を獲得。最適解獲得。
- 以上で詰碁の完成となる。

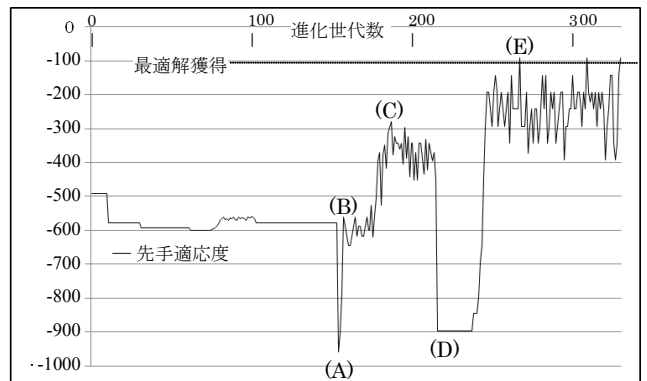


Fig. 7. 問題 1 における先手戦略の適応値の推移

5.1 拡張機能による、平均探索試行回数の推移

遺伝子座に収まり得る値の選別方式と、選別された値(着手可能手)の個数、そして平均探索試行回数の関連性を table 2 に示した。

Table 2. 問題 1 における平均試行回数の推移

	着手可能手の数	平均試行回数(標準偏差)
従来手法	71手	1639(1029)
方式 1	27手	-
方式 2	23手	666(539)
方式 3	12手	249(157)

注目すべき点は、着手可能な交点の数とその交点に正解手順の要素となる交点が含まれているかどうかである。

問題 1 のような白死の問題では、一般的に先手と後手共に白石付近への置き石が有効である可能性が高い。つまり最適解の候補となる交点は負の電荷の周辺に集中するといえる。その為、負の電荷を持つ交点を選定する方式 2 が問題 1 の傾向に適合し、平均試行回数の減少に至ったと考えられる。逆に方式 1 は正の電荷を持つ交点を選定する為、最適解の要素となる交点を除外してしまい、有効に機能しなかったと考えられる。

方式 3 は電位の変化量による選別である。選別される交点は黒石と白石がより混在した付近に集中する。その為、方式 3 は詰碁問題自体が持つ性質(黒石と白石の対立)に適合し、平均試行回数が減少したと考えられる。

他の問題、特に問題 1 とは傾向が異なる黒活に対して拡張機能を考えた場合の例を、Fig. 8 および Table 3 に示す。

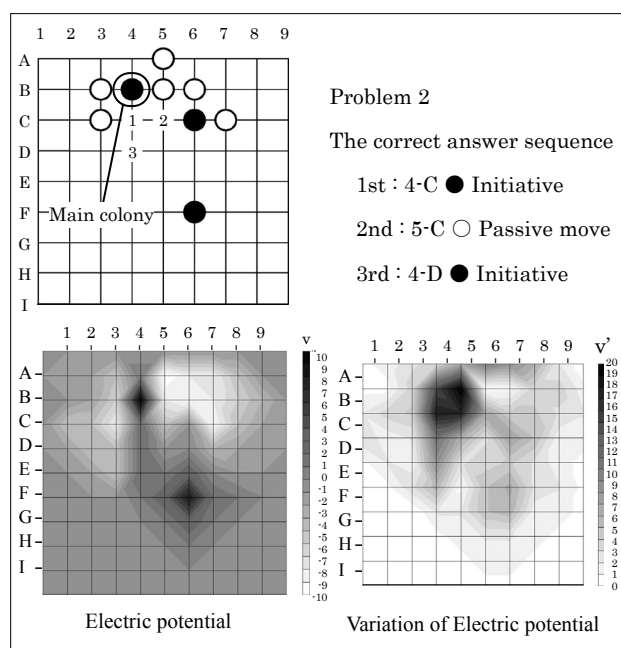


Fig. 8. 問題 2 とその数値的特徴

黒活の問題では、一般的に先手と後手共に黒石付近への置き石が有効である可能性が高い。白死とは逆に、正の電荷を持つ交点を選定する方式 1 が問題 2 の傾向に適合し、正解手順の要素となる交点を残しつつ、着手可能手が削減されている。方式 2 を用いた場合は、最適解の要素を除外してしまい、最適解の獲得が不可能になる。方式 3 は問題 1 と問題 2 共に有効に機能し、かつ両方で着手可能手の数が一番減少している。

着手可能手の減少は、探索試行回数の削減に繋がる為、問題 2 の様な黒活の問題に対しても、適応値の設定を適切に行えば、拡張機能を備えた競合共進化アルゴリズムが有効に機能し、最適解の獲得が可能だと推測される。

Table 3. 問題 2 における着手可能手数推移

	着手可能手の数	正解となる交点
従来手法	72手	含む
方式 1	22手	含む
方式 2	23手	含まない
方式 3	6手	含む

6. 結論

本稿では競合共進化アルゴリズムの対象問題とした詰碁問題に電荷モデルを適用することで、数値的な特徴を導き出し、その結果を用いた拡張機能によって、より効率的で安定した競合共進化アルゴリズムによる最適解獲得の手法を目指した。

電位分布を基とした遺伝子座に収まる値の選別が探索空間の広がりを抑え、その結果、平均試行回数に一定の変化が見られた。問題の傾向と選別方式の傾向が適合した場合に、効率的な探索試行が実現される傾向が伺える。

今後は、今回提案した電荷モデルを用いた拡張機能の実験を更に多くの白死問題に対して行い、数値的な特徴の抽出方法の検討、その精度を高めていくと共に、更に難易度の高い問題に取り組んでいく。併せて問題 2 として取り上げた、白死とは異なる傾向を持つ問題、黒活問題についても電荷モデルを用いた拡張機能の有効性を証明していく。

また、電荷モデルは簡潔な一般則であり、他の分野への応用が容易である。同様に詰碁は簡潔で単純な構造のゲームでありながら、その探索空間は非常に広い。その構造の簡潔さを応用の容易さ、探索空間の広さを表現の幅と捉えれば、今回の競合共進化アルゴリズムの実験結果を他分野(複数の同質(異質)の物体や力を要素にする問題など)へ応用する事も考え得る。

競合共進化アルゴリズムにおいて、対象問題(詰碁)に則した形で数値的な特徴を導き出し、その有効性を検討する一方、その実験結果の応用性も検討していく所存である。

参考文献

- [1] 伊庭齊志: 進化論的計算の方法, 東京大学出版, 1999 年.
- [2] W.D. Hillis: Co-evolution parasites improve simulated evolution as an optimization procedure, *Artificial Life II*, Addison Wesley pp.313-323(1991).
- [3] M. Nerome, K. Yamada, S. Endo and H.Miyagi: Competitive Co-evolution Model on the Acquisition of Game Strategy, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer, pp224-231(1997).
- [4] M. Oshima, K. Yamada, S. Endo and M. Nerome: APPLICATION OF COMPETITIVE CO-EVOLUTION ALGORITHM WITH DIRECTION OF EVOLUTIONAL PROCESSES TO TSUME-GO GAME, *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks*, volume 14 by Cihan H. Dagli PP.229-234
- [5] 中村克彦, 木戸間周平: 数値的な特徴に基づく囲碁局面パタンの解析, *情報学会論文誌*, vol.43, No.10, 2002.
- [6] Futuyama, D.J. And D. Jablonski: *Co evolution*, Sinauer (1983).
- [7] 河田 雅圭: 進化論の見方, 紀伊国屋書店, 1989 年.