

B5-1 不均衡進化説に基づく遺伝子対を有する遺伝的アルゴリズム

福井大学 工学部 知能システム工学科 進化ロボット研究室
藤田 正尚 (指導教員: 前田 陽一郎)

1. 緒言

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) はダーウィン進化論に基づく生物進化の過程を模擬した近似最適化手法である。同時に複数点の確率的探索を行うことができ、様々な最適化問題において比較的良好な解を短時間で見つけ出すことが可能である。しかしながら、一般的な遺伝的アルゴリズムの探索は一定の遺伝的パラメータを用いて行うため、探索初期及び収束期において解の多様性が上がらずに進化が停止してしまうことがある。

一方、近年の遺伝子工学の発展に伴い、従来のダーウィン進化論における偶然の変異の蓄積だけでは説明できなかった、進化を高速化することが可能な新しい進化理論が数多く提案されている。中でも実験を基に古澤ら [1] により提案された不均衡進化説 (Disparity Theory of Evolution) はよく知られている。一般に DNA は 2 重螺旋構造をしており、その 2 本の DNA が複製を行うときに、ほとんどコピーミスが起こらない連続鎖 (以下、リーディング鎖) と高確率でコピーミスを起こす不連続鎖 (以下、ラギング鎖) がある。そのコピーミスの頻度の差から多様性が生まれて進化が加速するという多様性維持手法である。不均衡進化説に基づく GA の改良手法も既に提案されている [2]。

また、0/1 のバイナリコードによる遺伝子表現では、ラギング鎖の高確率な変異により親の獲得形質を破壊される可能性が高いと考えられる。そこで、改良手法として生物の DNA と同様にアデニン、グアニン、シトシン、チミンの 4 種類の塩基によって遺伝子表現する手法が提案されている。しかしながら、これらの GA の各個体が持つ遺伝子はあくまでも 1 本であるため、2 本鎖が分裂する時に引き起こされる変異率の差を示した不均衡進化説を忠実に模しているとは言えない。

そこで本研究では、各個体が突然変異を起こしにくいリーディング鎖と、突然変異を起こしやすいラギング鎖の 2 本の遺伝子対を持つ不均衡進化型遺伝的アルゴリズム (Disparity Evolution-type Genetic Algorithm: DE-GA) を提案する。これにより解の多様性を維持しつつ、効率的な探索を実現できる。また、関数近似シミュレーションを行ない手法の有効性を検証したので、この結果についても報告する。

2. 不均衡進化型 GA (DE-GA) の提案

本研究における遺伝子は、生物の DNA の 2 重螺旋構造と同様に、各個体がリーディング鎖とラギング鎖の 2 本の遺伝子をセットで持ち、これらの遺伝子は相補結合しているものとする。すなわち、どちらか一方の遺伝子の全ての遺伝子座を対立遺伝子に反転させることで、もう一方の遺伝子が得られる。そして従来の GA には存在しなかった分裂及び複製の処理を加え、実際の生物の進化をより忠実に模擬する。

また、不均衡進化説における 2 本の遺伝子が分裂、複

製を行うときにコピーミスを起こしにくい遺伝子 (リーディング鎖) とコピーミスを起こしやすい遺伝子 (ラギング鎖) として、それぞれの遺伝子に大きく異なる突然変異率を設定する。均衡モデルと不均衡モデルにおける子孫の多様性の違いを図 1 に示す。1 回の分裂ごとに 2 回の変異が入るとする。太い矢印は親遺伝子を、連続した細い矢印は子遺伝子のリーディング鎖を、きれぎれの細い矢印は子遺伝子のラギング鎖を示す。

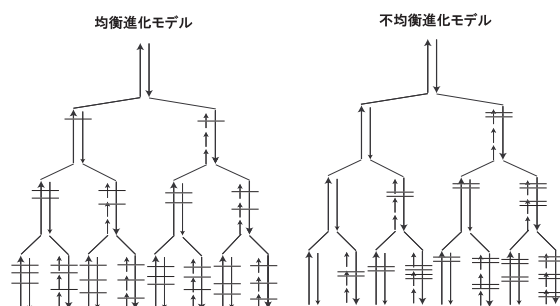


図 1 均衡進化と不均衡進化の決定論的表示 (文献 [1])

2.1 均衡進化型 GA

提案手法である DE-GA の比較手法として、リーディング鎖及びラギング鎖において等しい確率で突然変異率を起こす均衡進化説を模擬した均衡進化型 GA についてまず定義する。均衡進化型 GA における処理は DE-GA と同じであるが、均衡進化型 GA ではリーディング鎖及びラギング鎖における突然変異の確率が等しいと仮定する。

2.2 不均衡進化型 GA

DE-GA における処理手順を以下に示す。また、DE-GA における遺伝的操作を図 2 に示す。図中ではリーディング鎖を Le、ラギング鎖を La とする。

- Step1: 初期集団の生成
設定された数だけランダムにリーディング鎖を生成し、各リーディング鎖ごとに全てのビットを対立遺伝子に反転させたラギング鎖を生成する。生成された 2 本の遺伝子をセットとして、一個体とする。
- Step2: 選択評価
評価関数を用いて全個体のリーディング鎖の適応度のみを計算する。

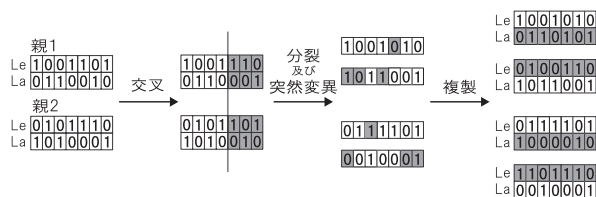


図 2 不均衡進化型 GA の遺伝的操作

- Step3 : 選択
ルーレット選択を用いて適応度に基づいて確率的に次世代に残す 2 個体を選択する。
- Step4 : 交叉
2 本の遺伝子の同位置を交叉点として 1 点交叉を行う。
- Step5 : 分裂
各個体のリーディング鎖とラギング鎖が開裂し、2 本の遺伝子に分裂する。
- Step6 : 突然変異
リーディング鎖は低確率、ラギング鎖は高確率で突然変異を起こす。
- Step7 : 複製
開裂前にリーディング鎖だったものはラギング鎖を、ラギング鎖だったものはリーディング鎖を複製し、各個体が再び 2 本の遺伝子をセットで持つようにする。
- Step8 : 淘汰評価
複製によって生成された 4 個体のリーディング鎖の適応度を計算する。
- Step9 : 淘汰
Step8 で求められた適応度より、適応度の高い 2 個体を次世代に残し、適応度の低い 2 個体を淘汰する。
- Step10 : エリート保存
前の世代及び現在の世代で最もリーディング鎖の適応度の高い 1 個体を集団内の最も適応度の低い個体と入れ替える。
- Step11 : 終了条件
終了条件を満たしていれば終了し、満たしていなければ終了条件を満たすまで Step2 ~ Step10 の操作を繰り返す。

また、0/1 のバイナリコードによる遺伝子表現では、ラギング鎖の高確率な突然変異によって親の獲得形質が破壊されやすくなる。そこで、生物の染色体と同様に A(アデニン), G(グアニン), C(シトシン), T(チミン) の 4 種類の塩基によって遺伝子表現を行う手法についても今回提案を行った。

3. テスト関数による実験

本研究の提案手法である DE-GA の遺伝子表現を 0/1 のバイナリコードによって行う手法と 4 種類の塩基によって行う手法における有効性を検証した。Rastrigin 関数による最適化シミュレーションにより SGA、均衡進化型 GA、DE-GA の比較を行った。

3.1 実験方法

Rastrigin 関数は式 (1) で表され、最適解の周辺に格子状の準最適解を持つ多峰性関数である。大域的最適解は 0 で、設計変数間に依存関係がないことが知られている。

$$F_{Rastrigin}(x) = 10n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)) \quad (1)$$

$$(-5.12 \leq x_i \leq 5.12)$$

$$\min(F_{Rastrigin}(x)) = F(0, 0, \dots, 0) = 0$$

本研究では適応度の符号を反転し、最適解が最大で 0 となるように設定してシミュレーションを行った。Rastrigin 関数の次元数は 20 次元とした。

3.2 実験結果及び考察

0/1 のバイナリコードによって遺伝子表現を行う手法におけるシミュレーション結果を図 3 に、4 種類の塩基によって遺伝子表現を行う手法におけるシミュレーション結果を図 4 に示す。結果より、バイナリコードによって遺伝子表現を行う手法においては、わずかではあるが SGA 及び均衡進化型 GA よりも DE-GA は良い性能を示した。また、4 種類の塩基によって遺伝子表現を行う手法においては、初期の収束性能及び収束期において SGA 及び均衡進化型 GA よりも DE-GA はかなり良好な結果を示した。これは、遺伝子表現をバイナリコードから 4 種類の塩基に変更したことで、より生物に近い進化を模擬でき、不均衡進化説の効果が発揮されたためであると考えられる。

4. 結言

本研究では、GA における探索性能を改善させるため、各個体が突然変異を起こしにくいリーディング鎖と突然変異を起こしやすいラギング鎖の 2 本の遺伝子対を持つ DE-GA を提案した。Rastrigin 関数による最適化シミュレーション用いて SGA 及び均衡進化型 GA との比較を行った結果、探索初期、収束期どちらにおいても解探索性能を向上させることができた。また、4 種類の塩基によって遺伝子表現を行うことで、親の獲得形質を維持しつつ、多様性を維持することが可能であることもわかった。

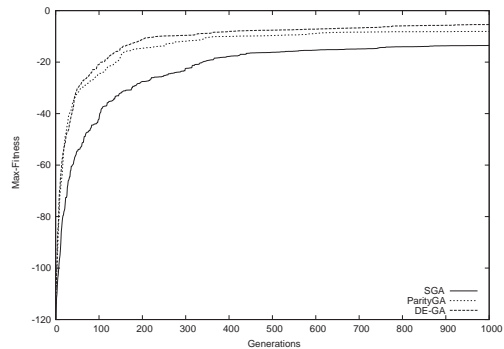


図 3 シミュレーション結果 (バイナリコード)

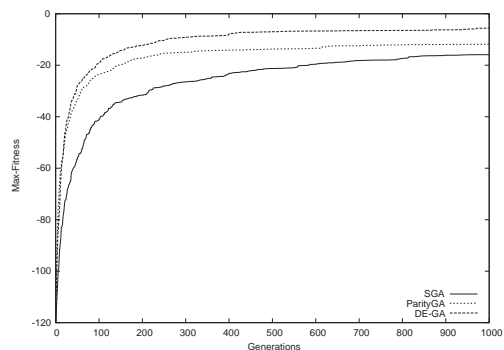


図 4 シミュレーション結果 (4 種類の塩基)

参考文献

- [1] Mitsuru Furusawa, Hirofumi Doi, "Asymmetrical DNA replication promotes evolution: disparity theory of evolution," *Genetica*, Vol.102-103, pp.333-347 (1998)
- [2] 前田 陽一郎, "不均衡進化説に基づく突然変異を有する遺伝的アルゴリズム," 第 16 回ファジィシステムシンポジウム, pp.49-52 (2000)