

非対称性突然変異モデル遺伝的アルゴリズムにおける連鎖の役割

杜 一 飛[†] 青木 謙 二^{††} 坂本 真人^{†††}
山 森 一 人^{†††} 古谷 博史^{†††}

遺伝的アルゴリズム (GA) は乱数の手法で集団を進化させ解を求める。本研究では、非対称突然変異モデル遺伝的アルゴリズムを用い、OneMax 問題における集団の進化を調べた。数値計算の結果では、非対称突然変異率により集団が連鎖不平衡になる場合があることが分かった。連鎖不平衡では、異なる遺伝子座の間に相関が存在する。このことにより、最適解の出現時間が非対称性の程度により変わる。我々は、2次スキーマに着目し、連鎖が集団の進化に与える影響を調べた。

Effect of Linkage in Genetic Algorithm of Asymmetric Mutation Model

YIFEI DU,[†] KENJI AOKI,^{††} MAKOTO SAKAMOTO,^{†††}
KUNIHITO YAMAMORI^{†††} and HIROSHI FURUTANI^{†††}

Genetic algorithm (GA) evolves population randomly to find solutions. In this study, we used genetic algorithm of asymmetric mutation model to analyze the evolution of the population in OneMax problem. In some cases, depending on asymmetric mutation rates, the population has linkage disequilibrium in the numerical calculations. The linkage disequilibrium is the state where there are some correlations between the different loci in a chromosome. We found that the hitting time depends on the degree of asymmetry. We focused on the second order schema and analyzed the effects of linkage on the evolution of the population.

1. はじめに

遺伝的アルゴリズム (GA) において、最適解の出現時間を速めることは重要な課題である。非対称突然変異モデルを適用し、進化速度を速める進化型計算の研究がいくつか存在する¹⁾。その結果では、適応度関数により、非対称突然変異が良い効果を持つ場合や、効果がない場合がある。我々は、進化型計算において、非対称突然変異の下での個体変化を Markov 連鎖モデルを用いて理論的に解析した²⁾。本研究では、初めて最適解が出現する時間 (hitting time) を調べ、非対称突然変異の進化速度への役割を分析した。特に連鎖を評価する2次スキーマに注目し、連鎖と進化速度の関係を調べた。

2. 理 論

2.1 アルゴリズム

- (1) 集団の初期化: N 個の個体 $x \in \{0, 1\}^l$ をランダムに生成する。
- (2) 個体の評価: 適応度関数 $f_a(x)$ で評価する。
- (3) 選択: ルーレット選択を利用する。
- (4) 交叉: 一様交叉を利用する。
- (5) 突然変異: 対称突然変異と非対称突然変異を用いる。
- (6) 終了条件: 最適解 $a \in \{0, 1\}^l$ を出現するまでに、操作 (2) から (5) まで繰り返す。

個体 $x = \langle i_1, i_2, \dots, i_l \rangle$ に対し、ビット 1 の数を $|x|_1 = \sum_{k=1}^l i_k$ で表す。同様に、 $|x|_0$ がビット 0 の数を表す。

対称突然変異 各ビットが確率 $\frac{1}{l}$ で変異する。

非対称突然変異 ビットが確率 $\frac{1}{2|x|_1}$ で 1 から 0 に変異する。逆に、確率 $\frac{1}{2|x|_0}$ で 0 から 1 に変異する。今回、最適解 a を指定し、OneMax 問題を適用する。そのため、適応度関数は

[†] 宮崎大学農学工学総合研究科
Graduate School of Agriculture & Engineering, University of Miyazaki
^{††} 宮崎大学情報技術センター
Information Technology Center, University of Miyazaki
^{†††} 宮崎大学工学部
Faculty of Engineering, University of Miyazaki

$$f_a(x) = \sum_{k=1}^l i_k \oplus a_k \quad (1)$$

となる。ただし、 $i_k \oplus a_k$ は排他的論理和である。

2.2 連鎖分析

適応度の分散は $VAR = V_A + V_I$ と表すことができる³⁾。 V_A は1次スキーマだけが寄与する。 V_I は異なるビットの連鎖を表し、2次スキーマが寄与し、

$$V_I = 2 \sum_{k < k'} \{p_{11}^{(k,k')} - p_1^{(k)} p_1^{(k')}\} \quad (2)$$

となる。ただし、 $p_1^{(k)}$ は個体 x と最適解 a が k 番目のビットで一致する確率である。 $p_{11}^{(k,k')}$ は個体 x と最適解 a が k 番目と k' 番目のビットで同時に一致する確率である。また、集団が連鎖平衡状態にある場合、各ビットは独立で、 $V_I = 0$ となる。

3. 実験

今回、第2.1節のアルゴリズムを用いて、実験を行った。個体数 $N = 100$ 、ビット長 $l = 20$ と交叉率 $p_c = 1$ を設定した。同じ条件の実験を1000回繰り返して、平均の結果を求めた。

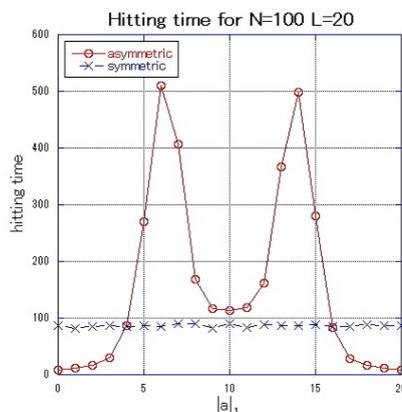


図1 最適解が初めて出現する時間

図1は最適解が初めて出現する時間 (hitting time) を表す。横軸 $|a|_1$ は最適解の中に、ビット1が存在する数である。この結果により、 $|a|_1$ による対称突然変異モデルの進化速度がほぼ同じだと分かる。しかし、異なる $|a|_1$ に対し、非対称突然変異モデルでは進化速度が異なっている。非対称突然変異は集団の進化を加速する場合もあり、減速する場合もある。また、

$|a|_1 = 10$ の時、非対称突然変異モデルが対称突然変異モデルに近くなる。

次に、 $|a|_1 = 20$ の場合と $|a|_1 = 10$ の場合の連鎖を分析する。

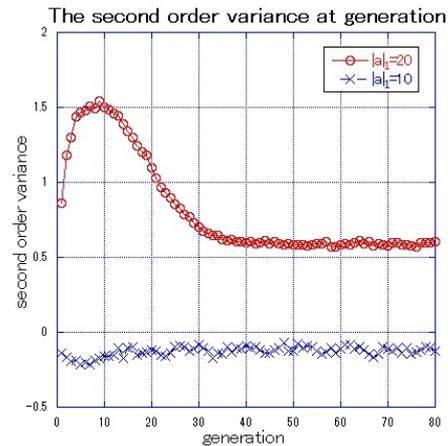


図2 世代数による V_I の変化

図2は世代数による V_I の変化を表す。結果を見ると、 $V_I \neq 0$ により、集団が連鎖不平衡状態になる。 $|a|_1 = 20$ の場合には、 V_I が高く集団の進化が速くなるので、連鎖が進化を加速する。

4. おわりに

今回、非対称突然変異モデルを適用した遺伝的アルゴリズムの進化過程を調べ、集団に生じる連鎖を分析した。非対称性の程度により、集団に生じる連鎖は異なる。連鎖不平衡状態の中には、集団の進化を加速する役割を持つ場合がある。将来の研究では、非対称突然変異による連鎖が進化に影響を与える仕組みの理論的解析を行いたい。また、OneMax問題以外の適応度関数に対し連鎖の役割を調べたい。

参考文献

- 1) Jansen, T., Sudholt, D.: Analysis of an Asymmetric Mutation Operator, *Evolutionary Computation*, Vol. 18(1), pp. 1–26 (2010).
- 2) Furutani H., Sakamoto M., Du Y.: Analysis of Asymmetric Mutation Model in Random Local Search, *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, Vol. 2, No. 1, pp. 1–4 (2015).
- 3) 古谷博史: 選択における連鎖不平衡の効果——OneMax問題のスキーマ解析, 情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用, Vol. 45, No. SIG 2(TOM 10), pp. 12–21 (2004).