

# 冗長な遺伝子型-表現型写像を用いた GA の進化挙動

## Evolutionary Dynamics of GAs with Redundant Genotype-Phenotype Mappings

摂南大学 片田 喜章, 星尾 隆行  
Y. Katada and T. Hoshio  
Setsunan University

**Abstract** A number of researchers in the field of evolutionary computation have been trying to improve the performance of artificial evolution on traditional problems by incorporating redundancy in genotype to phenotype mappings in recent years. However, it is still not clear what kind of redundant mapping is useful for what class of problems. In this work, we conducted a series of computer simulations with GAs with redundant mappings from genotype to phenotype in order to investigate what kind of redundant mapping is useful for rugged fitness landscapes.

### 1 はじめに

これまで人工進化の研究分野においては、スキーマ定理・積木仮説に基づき、問題ごとに探索空間を狭めるために冗長性を排除したコンパクトな遺伝子型-表現型写像の設計に着目されてきた。一方、自然進化は今日採用されている人工進化アルゴリズムとは多くの点で異なっており、その1つに遺伝子型-表現型写像における冗長性がある[1]。近年、人工進化分野でも自然進化に動機付けられ、遺伝子型-表現型写像に冗長性を意図的に導入することの有効性が盛んに議論されている[2][3][4]。ここでは、冗長性により適応度景観に生成されるニュートラルパス[5]に沿って集団が移動することにより、局所解に固着することなく探索を続けることが可能になると期待されている。しかしながら、いまだにどのクラスの問題においてどのような種類の冗長性が有効であるかについて十分に議論されていない。そこで本稿では、適応度景観の ruggedness を調節できるテスト問題において、これまで人工進化分野で提案されている代表的な冗長遺伝子型-表現型写像[2]および我々の研究グループで提案してきた冗長な遺伝子型-表現型写像[6]を採用したGAのパフォーマンスについて検証する。

### 2 遺伝子型-表現型写像

#### 2.1 一対一写像

Simple GA(以下SGA)で採用されている写像であり、遺伝子型と表現型は一対一に写像され冗長性を含まない。冗長な遺伝子型-表現型写像との比較として用いる。遺伝子長は  $L_g = 32$  とする。

#### 2.2 Trivial Voting Mapping: TVM

表現型1ビットの値は関連する遺伝子座3ビットの値で決定され、0が多ければ0、1が多ければ1になる。遺

伝子長は  $L_g = 96$  となる。

#### 2.3 Standard Voting Mapping: SVM

表現型1ビットの値は関連する複数の遺伝子座の値からTVMと同様に決定される。文献[2]を参考に  $L_g = 64$ 、表現型1ビットに関連する遺伝子座数は49とする。

#### 2.4 Cellular Automaton Mapping: CA

セルは現在の自身の状態と両隣のセルの状態によってセルオートマトンのルールに従い変化を繰り返す(20回)、表現型となる。CAではこのルールを遺伝子型に含める。セルの初期状態に対し文献[2]を参考に次の方法を用いる。i) 初期世代で任意に生成し、それ以降は固定(CA1)。ii) セルの初期状態も遺伝子型に含める(CA2)。  $L_g = 256$ (CA1),  $L_g = 288$ (CA2) となる。

#### 2.5 Random Boolean Network Mapping: RBN

RBNはCAと同様のルールを遺伝子型に含む。これに加えて、CAでは固定であったセルの関連を遺伝子型に含む。セルの初期状態を、i) 初期世代で任意に生成(RBN1)、ii) セルの初期状態も遺伝子型に含める(RBN2)、とする。  $L_g = 736$ (RBN1),  $L_g = 768$ (RBN2) となる。

#### 2.6 Operon GA: OGA

OGAの遺伝子型は次のように定義される[6]。  $string = \{operon_i \mid i = 1, \dots, m\}$ ,  $operon_i = \{gene_j \mid j \in O_i\}$ ,  $gene_j = \{x_1, x_2, \dots, x_6\}$ 。ここで、 $O_i$ は  $operon_i$  が含む遺伝子集合である。各遺伝子は長さ6のリストをもつ。  $operon$  に対して結合・分割、  $gene$  に対して重複・欠失・逆位と呼ばれる遺伝的操作を用いる[6]。この遺伝子型に対する表現型は、すべての遺伝子の  $x_1$  からなる。  $L_g = 192$  となる。

### 3 計算機実験

第2節で示した冗長な遺伝子型-表現型写像を用いるGAのパフォーマンスを、適応度景観に ruggedness を含むテスト問題において検証する。ruggedness を調節できるテスト関数として提案されているNK ランドスケープ [7] を用いる。ruggedness を調節するエピスタシス数を  $K = \{0, 4, 16\}$  と変化させる [4]。すべてのGAにおいて個体数を50、表現型のストリング長を  $L_p = 32$  とし、遺伝的操作として点突然変異を用いる。点突然変異率を  $q = 1/L_g$  とする(ただし、OGAはその構造により  $q = 1/L_p$  とする)。各GAともに、選択法としてトーナメント選択を用い、エリート戦略を適用する。トーナメントサイズを  $s = 2, 6$  と変化させる。各試行の最終世代数を3,000とする。各  $K$  に関し独立に50試行を行い、それぞれの結果の平均値を示す。

図1に各GAにおいて最終世代数で適応度が高かった方の  $s$  の結果を示す(図の凡例中、-2,6が  $s$  を表す)。  $K = 0$  の場合、TVM,OGA,SGAが良いパフォーマンスを示している(図1(a))。このTVMの結果はOne-Max問題で得られている結果 [3] と一致する。 $K = 4$  の場合、OGA,SGAが良いパフォーマンスを示し、次にTVM, CA1,2, SVM という順で良いパフォーマンスを示す(図1(b))。 $K = 16$  の場合、OGA,SGAが良いパフォーマンスを示し、次に他の  $K$  でパフォーマンスが悪かったRBNが良いパフォーマンスを示すようになる(図1(c))。以上より、ruggedness が大きくなるほどOGAは有効であることを確認した。また、SGAは  $s = 2$  のときに良いパフォーマンスを示した。そして、SGA, OGA, CA1 ではつねに同一の  $s$  の値が良いパフォーマンスを示したが、それ以外のGAでは  $s$  による傾向は見られなかった。

### 4 おわりに

本稿では、NK ランドスケープにおいて、これまで提案されている冗長な遺伝子型-表現型写像を用いたGAのパフォーマンスを検証した。今後、各GAの挙動を実効突然変異率をもとに解析し、得られたパフォーマンスとの相関を調べる予定である。

#### 参考文献

- [1] M. Kimura: The Neutral Theory of Molecular Evolution; Cambridge University Press (1983)
- [2] M. Shackleton, R. Shipman and M. Ebner: An Investigation of Redundant Genotype-Phenotype Mappings and Their Role in Evolutionary Search; Proc. of the 2000 IEEE Congress on Evolutionary Computation: CEC2000, pp. 493-500, IEEE Press, (2000)
- [3] F. Rothlauf and D. Goldberg: Redundant Representations in Evolutionary Computation, Evolutionary Computation, Vol. 11, No. 4, pp. 381-415, (2003)

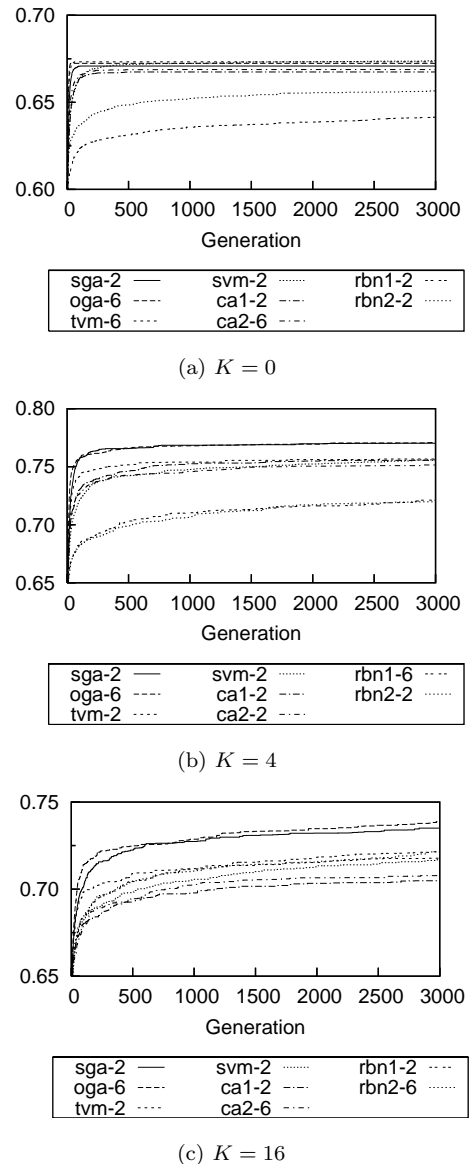


図1: 各GAの世代数に対する最大適応度の推移

- [4] J. D. Knowles and R. A. Watson: On the Utility of Redundant Encodings in Mutation-based Evolutionary Search; Proc. of Parallel Problem Solving from Nature - PPSN VII, LNCS 2439, pp. 88-98, (2002)
- [5] I. Harvey and A. Thompson: Through the Labyrinth Evolution Finds a Way: A Silicon Ridge, Proc. of the first International Conference on Evolvable Systems: From Biology to Hardware, pp. 406-422, (1996)
- [6] 大倉, 上田: 中立突然変異型GAによる騙し問題の最適化; 計測自動制御学会論文集, Vol. 32, No. 10, pp. 1461-1469, (1996)
- [7] S. Kauffman: The origins of order; Oxford University Press, (1993)