

遺伝的アルゴリズムにおける実数ベクトル表現，世代交代モデル，母集団分割効果の検討

A Discussion on Real Number Vector Representation, Generation Alternation Models and Effect by Division of Population of Genetic Algorithm

福永 隆宏

Takahiro FUKUNAGA

Abstract:

Recently, many Genetic Algorithm (GA) schemes have been developed to find the good results. Among them, Real-coded Genetic Algorithm, Generation Alternation Model, and Island Model are focused. In this paper, we discuss the performance of real-coded GA with MGG and island model. The examined model is applied to some test functions to verify the effectiveness of each scheme. The numerical result shows that real-coded GA with multiple sub populations provides the higher search ability than that with a single population.

1 はじめに

GA の探索性能の向上に関しては，多くの研究が行われている．その中で本研究で注目するのは，1) 実数ベクトルによる遺伝子型の表現とその交叉法，2) 世代交代モデル，3) 母集団の分割化の 3 種のスキームである．これらのスキームの関連研究において，GA の探索性能を向上させることを示している．しかしながら，これら 3 種のスキームすべてを組み合わせた GA の性能向上を検討している例は見られない．そこで本研究では，遺伝子系として，通常のビットストリング表現，実数ベクトル表現，世代交代モデルの 1 つである MGG，母集団分割のそれぞれを組み合わせたモデルにおける GA の探索性能について検討する．

2 実数値遺伝的アルゴリズム

実数値 GA は，Fig. 1 のように，個体の染色体に実数ベクトルを用いて表現し，連続関数の最適化に適した交叉オペレータを有する GA である．実数値 GA は，目的関数の形状を考慮した探索を行うため，ビットストリングを用いてコード化を行う GA と比較して，良好な解を得ることができる¹⁾．

3 世代交代モデル

世代交代モデルには，複製選択と生存選択の方法によって，いくつかのモデルが提案されている．本研究で用いる世代交代モデルは，佐藤らによって提案された Minimal Generation Gap (MGG)²⁾ である．MGG は複製選択として，母集団からランダムに親個体となる 2 個体を非復元抽出し，子個体を生成する．生存選択では，生成された家族から，最良個体とルーレット選択により選ばれた 1 個体を選択し，母集団に戻す．MGG は，初

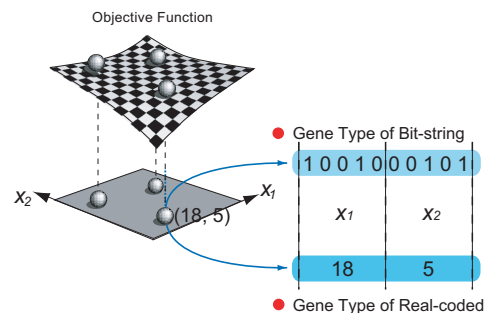


Fig. 1 Real value coding

期収束を回避し，探索終盤においても母集団内に多種多様な個体を存在しやすくし，進化的停滞を抑制することを目的としている．Fig. 2 に MGG の模式図を示す．

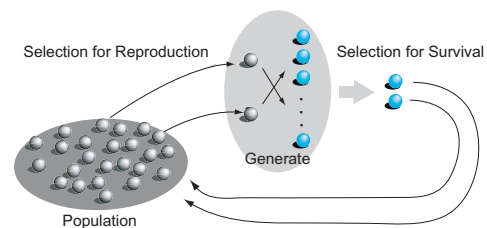


Fig. 2 Minimal Generation Gap

4 母集団分割モデルに特化した MGG の検討

母集団分割モデルに MGG を適用し，その解探索性能について検討する．本項で検討する計算モデルは，表現系に実数ベクトル，交叉法に UNDX，そして世代交代モデルに MGG を用いた．このモデル (UNDX+MGG) は単一母集団において，小野らによって，様々な連続関数最適化問題に対して有効性が確認されている¹⁾．

以下、分散 GA に UNDX+MGG モデルを適用した GA について数値実験を行う。Fig. 3 に本研究で用いた計算モデルの模式図を示す。

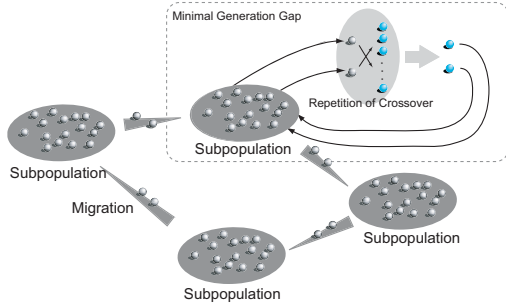


Fig. 3 Distributed Real-coded GA with MGG

4.1 母集団分割モデルに適用した MGG の問題点

上記の計算モデルを 2 種類の数学的テスト関数に適用した。適用した関数は設計変数間の依存性の有無から、Rastrigin 関数と Griewank 関数とした。終了条件は世代数が 30000 世代を超えたときである。実験に用いたパラメータについては、生成個体数は推奨値¹⁾である 200 個体、それ以外は Table 1 のものを用いている。また、Fig. 4 に対象問題ごとの関数評価値の推移を示す。結果は 20 試行平均である。横軸は評価計算回数、縦軸は関数評価値であり、対象問題が最小化問題であるため、縦軸の値が小さいほど最適値に近づいている。

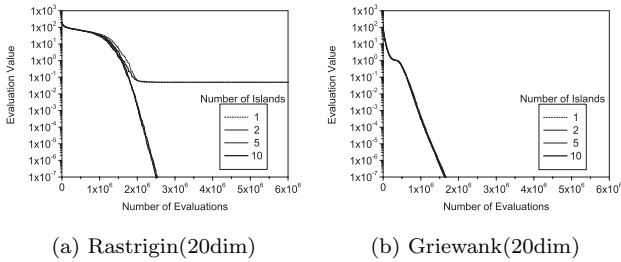


Fig. 4 History of the evaluation value

Fig. 4 から、いずれの関数においても母集団分割が有効に機能しているとは言えない。このような結果となる理由として、MGG を分散 GA に組み込む場合、各世代の評価計算が増加してしまうことが考えられる。具体的には、単一母集団の場合、1 世代に必要な評価計算回数は [生成個体数] 回である。しかし分散 GA の場合、各島で MGG を適用すると評価計算回数は [生成個体数]*[島数] 回となり、島数が増加するにつれて、評価計算も増加してしまう。よって、母集団分割が有効に機能する MGG を検討する必要がある。

4.2 本研究で用いた MGG の分散モデル

母集団分割モデルに有効に機能する MGG を提案する。島数の増加に伴う評価計算回数の増加を防ぐため、島数に応じて交叉回数を調節する。具体的には、単一母集団の場合の生成個体数を 200 個体とし、生成個体数を式 (1) で設定する。

$$\#Children = 200 / \#Islands \quad (1)$$

このように定義することによって、終了世代における評価計算回数を統一させることができる。そこで、このモデルについて前実験と同様の 2 種類のテスト関数に適用して実験を行った。実験に用いたパラメータを Table 1 に示す。また Fig. 5 に対象問題ごとの関数評価値の推移を示す。

パラメータ	値
総個体数	300
島数	1, 2, 5, 10
各島個体数	総個体数 / 島数
生成個体数	200 / 島数
次元	20
交叉方法	UNDX
UNDX parameter	$\alpha = 0.5 \beta = 0.35$
突然変異率	0.0
移住率	0.5
移住間隔	5

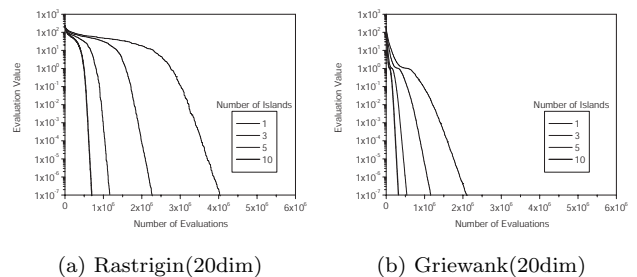


Fig. 5 History of the evaluation value

Fig. 5 から、島数による分散効果が確認できた。各島での生成個体数が減少することで、多様性が欠如すると思われるが、移住により母集団全体の多様性が維持できていると考えられる。本論文では、分散モデルが有効に機能する MGG を用いる。

4.3 数値実験

本節では、4.2 節で説明した MGG について、5 種類の数学的テスト関数に適用し、母集団分割による解探索への影響について検討する。また、遺伝子系にはピッ

トストリングと実数ベクトルを用い、コーディング方法による比較も行う。なお、本研究で用いるビット型 GA は、グレイコーディングを用いる。終了条件は世代数が 30000 世代を超えたときであり、試行回数は 20 とした。実験に用いたパラメータを Table 2 に示す、なお、ビット型 GA において、実数値 GA に探索精度を近づけるために、1 設計変数あたりのビット数を 30 ビットとした。

Table 2 Parameters : 2

パラメータ	実数値 GA	ビット型 GA
総個体数	300 (多峰性), 50 (単峰性)	
島数		1, 2, 5, 10
各島個体数		総個体数 / 島数
次元		20
1 設計変数のビット数		30
交叉方法	UNDX	2 点交叉
交叉回数		100 / 島数
UNDX parameter	$\alpha=0.5 \beta=0.35$	
突然変異率	0.0	0.0017
移住率		0.5
移住間隔		5

Table 3 に両計算モデルの実験結果を示す。結果には、全試行回数に対して最適解を発見した試行の数 (#OPT¹)、および最適解に達した試行における評価計算回数の平均値 (AVG) を用いる。UNDX は実数値 GA、2X (2 点交叉: 2points-crossover) はビット型 GA の交叉オペレータである。また、本論文における実数値 GA の最適解というのは、各々の関数評価値が 1.0E-10 に達したものを指している。

4.4 島数による分散効果の比較

Table 3 から、Rosenbrock 関数以外に関しては、両計算モデルにおいて母集団分割することで解探索性能が向上したと言える。Rosenbrock 関数では、2 島の実数値分散 GA が最も良好な結果を得た。これは島数を増加することで、各島内の個体数が減少し、統計的に子個体を発生させる UNDX が有効に機能しなかったためであると考えられる。また、同様の性質を持つ単峰性である Ridge 関数では、このような傾向にはならなかった。これは Ridge 関数の最適解が原点であることに起因していると考えられる。実数値 GA では、交叉方法に BLX- α や UNDX を適用した場合、探索空間の中心付近が探索されやすいことが報告されている⁴⁾。よって Ridge 関数のように、最適解が探索空間の中央に存在する問題に対して、少ない個体数でも有効に探索が行われたものと考えられる。

4.5 コーディング方法による比較

Table 3 から、コーディング方法によらず、ほとんどの関数において母集団分割することで解探索性能が向上

¹number of runs in which the algorithm succeeded in finding the global optimum

した。

実数値 GA は、すべての関数において最適解を得ることができた。この点に関してビット型 GA と比較して、連続関数最適化問題には、連続性を考慮した探索が非常に重要であることが確認できる。特に、設計変数間に依存関係のある問題に対しては、その性能の差は顕著である。しかしながら、Rastrigin 関数や Rotated Rastrigin 関数に関しては、局所解に陥ってしまう試行もある。大域的局所解が多く存在する問題に対しては、実数値 GA 自体の性能、すなわち局所解を抜け出すための強力なアルゴリズムの構築が今後の課題となる。

5 結論

本論文では、近年注目されている実数ベクトル表現、世代交代モデルの 1 つである MGG、母集団分割について検討を行った。その中でも、MGG の分散モデルと染色体のコーディング方法との関係について検討した。これらな計算モデルに対して、5 種類の数学的テスト関数に適用し数値実験を行った結果、以下のようなことが確認された。

- MGG と母集団分割モデル：
MGG を分散 GA に適用する場合、島数に応じた生成個体数を調節することで、評価計算を軽減させることができる。生成個体数が減少すると、探索に多様性が失われる可能性も生じるが、それは分散 GA の利点の 1 つである移住操作によって多様性が維持されるものとする。
- MGG と実数ベクトルコーディング：
探索空間のランドスケープを十分に見積もりながら探索を行う実数値 GA と、多様性維持に優れた MGG を組み合わせることは、有効な手段である。母集団分割による解探索性能の向上も確認できた。さらに交叉方法として UNDX を用いる場合、設計変数間に依存関係の有無、多峰性 / 単峰性に関わらず、最適解を得ることができる。
- MGG とビットコーディング：
設計変数間交叉が主となる探索では、関数の性質によって、その探索性能は大きく異なる。ビット型 GA では、交叉は補助的に用いられている場合が多く、突然変異が探索の主力である³⁾。MGG の分散モデルに特化した突然変異の実装に関しても調査する必要がある。
- 実数コーディングとビットコーディング：
複雑な関数に対しては、実数値 GA がビット型 GA と比較して、良好な解探索性能を有していると言える。これにより目的関数の形状を考慮した探索と、

Table 3 Summary of results

Functions (dimensions)	Crossover	Number of Islands							
		1		2		5		10	
		#OPT	AVG	#OPT	AVG	#OPT	AVG	#OPT	AVG
Rastrigin (20dim)	UNDX	17	2,822,700	18	1,478,100	17	666,900	19	472,100
	2X	20	2,888,300	20	1,742,900	20	1,578,700	20	869,300
Griewank (20dim)	UNDX	20	1,857,700	20	1,102,100	20	585,300	20	397,300
	2X	15	3,120,500	11	1,901,100	8	979,900	13	734,500
Rosenbrock (20dim)	UNDX	20	1,275,260	20	952,650	20	1,069,450	19	2,548,850
	2X	0	-	0	-	0	-	0	-
Ridge (20dim)	UNDX	20	784,650	20	530,650	20	381,050	20	375,650
	2X	0	-	0	-	0	-	0	-
Rotated Rastrigin (20dim)	UNDX	19	2,761,500	20	1,423,300	20	708,900	19	524,300
	2X	0	-	0	-	0	-	0	-

MGG や分散 GA によって母集団の多様性を維持することは、良好な探索性能を実現させるための重要な手法と言える。特に複数回交叉を行う MGG モデルでは、2 点交叉と比較して UNDX の方が、様々な種類の子個体が生成される可能性があり、探索がより多様性豊かなものになると考えられる。

6 今後の課題

本論文では、最適解が探索空間のほぼ中央に存在する問題にのみ検討を行った。このため今後は、最適解が設計空間の境界付近に存在する Schwefel 関数や最適解の位置を任意にずらした対象問題に対して、検討を行う必要がある。

しかしながら UNDX を用いた場合、このような最適解が探索空間の境界付近に存在する関数に対しては、その性能を極端に低下させてしまうと報告されている⁴⁾。この問題を解決するアプローチとして、以下の 2 点が考えられる。

- 実数値 GA の性能向上：

実数値 GA 特有の問題として、探索中に交叉により制約条件を超える遺伝子が生成されることがある。これは最適解が制約条件付近に存在する問題のときほど多く見られる。その制約外遺伝子に対する処理が探索性能に影響を与えると考える。本論文では致死遺伝子として、探索から除外する方法を用いているが、今後、染谷らが提案する TSC (Toridal Search Space Conversion)⁵⁾ などの手法に注目する。

- 分散 GA に特化した世代交代モデルの検討：

分散 GA と世代交代モデルがより有効に機能するために、より分散 GA に特化した世代交代モデル

を構築する必要がある。本論文では移住に関するパラメータの検討や移住個体の選択方法などについて詳しく検討を行っていないため、これらに関しても注目しなければならない。

参考文献

- 1) Isao Ono and Shigenobu Kobayashi : A Real Coded Genetic Algorithm for Function Optimization Using Unimodal Normal Distributed Crossover , Proc. 7th International Conference on Genetic Algorithms , Vol.16 , No.1 , pp246-253 , 1997
- 2) 佐藤 浩, 小野 功, 小林 重信 : 遺伝的アルゴリズムにおける世代交代モデルの提案と評価 , 人工知能学会誌 , Vol.12 , No.9 , pp734-744 , 1997
- 3) Eshleman,L.J and Schaffer,J.D : Real-Coded Genetic Algorithms and Interval-Schemata , Foundations of Genetic Algorithms , Vol.2, pp187-202 , 1993
- 4) Ono,I. , Yamamura,M. and Kobayashi,S. : A Robust Real-coded Genetic Algorithm using Unimodal Normal Distribution Crossover Augmented by Uniform Crossover: Effects of self-Adaptation of Crossover Probabilities , in Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, pp496-503 , 1999
- 5) 染谷博司, 山村雅幸 : 最適解の位置にロバストな実数値 GA を実現する Toridal Search Space Conversion の提案 , 人工知能学会誌 , Vol.16 , No.3 , pp333-343 , 2001