

ウイルス進化論に基づく新しい遺伝的アルゴリズム

中谷 直司 近藤 邦雄

埼玉大学工学部

遺伝的アルゴリズムはダーウィンの進化論に基づいた最適解探索手法であるが、その一方で進化論はダーウィンの進化論だけではなく、それ以外にも多くの進化論が提案されている。ウイルス進化論はその中の一つであり、生物はウイルスの感染により進化するという考えに基づいている。本稿ではこのウイルス感染による進化という点に着目し、ウイルス進化論に基づく新しい遺伝的アルゴリズムを提案する。また、提案手法の有用性を確認するため計算機実験を行い、ナップザック問題において提案手法と遺伝的アルゴリズムとを比較した。その結果、提案手法は計算時間が短かく、また、最適解を得る確率も高いということが確認された。

A Novel Genetic Algorithm Based on the Theory of Virus Evolution

Naoshi NAKAYA Kunio KONDO

Faculty of Engineering, Saitama University

Genetic algorithm is a method to search optimum solution based on Darwinism. On the other hand the theory of evolution is not only Darwinism but also a lot of theories. The theory of virus evolution is one of these theories. This theory has the idea which a virus evolves life. This paper proposes a novel genetic algorithm based on the theory of virus evolution. We have made computer experiments using proposed algorithm. In these experiments, we have compared a genetic algorithm with the proposed algorithm by the knapsack problem. The results of computer experiments show the efficiencies of proposed algorithm.

1 まえがき

遺伝的アルゴリズムはダーウィンの進化論に基づいた最適解探索手法である。その一方で進化論はダーウィンの進化論だけではなく、他にも多くの進化論が提案されている。ウイルス進化論はその中の一つであり、生物はウイルスにより進化するという考えに基づいている。本稿ではウイルス進化論に基づく新しい遺伝的アルゴリズムを提案する。

ウイルス進化論に基づく手法は既にいくつか提案されている[3, 4]。しかし、それらの手法ではウイルスは生物であるとしているのに対し、我々の手法ではウイルスを生物としては捉えない。したがってウイルスは集団を作らず、適応度も持たず、突然変異も起こさない。すなわち、我々はウイルスを遺伝子を運ぶ生物器官の一つとして捉え、単に染色体の一部遺伝子を置き換える機能を持つものとする。

次に提案手法についてだが、まず個体集団は遺伝的アルゴリズムの集団と同じものとする。また提案手法では交叉は用いず、個体集団はウイルスの感染により進化する。感染は、まず適応度に応じて選択された一つの染色体上に、遺伝子座を二つランダムに選択する。それら二つの遺伝子座に挟まれた遺伝子をウイルスとし、そのウイルスを他の染色体に感染させる。言い換えるならば、適応度の高い染色体の持つ遺伝子の一部を集団全体に拡散させることになる。しかし必ずしも集団は改善されるとは限らないため、局所最適解に陥ることなく最適解を得ることが可能となる。突然変異は感染時のエラーとして振る舞う。すなわち、感染時に書き換えられた遺伝子の一部を他の遺伝子に置き換えることにより実現する。そして、以上の操作を繰り返すことで、最適解を得ることが可能となる。なお提案手法は、その遺伝子操作が従来の遺伝的アルゴリズムに比べ処理が軽いため、計算時間が短いという特長を有する。

提案手法の有用性を確認するため計算機実験を行い、同一問題において提案手法と遺伝的アルゴリズムを比較した。ナップザック問題を解いた結果、提案手法の計算時間は遺伝的アルゴリズムのものよりも48.0%短かった。また、最

適解を得る確率も提案手法の方が高いという結果を得た。

2 ウイルス進化論

遺伝的アルゴリズムは最適解探索手法の一つであり、初期条件に依存せず局所最適解を避け最適解を探索可能という特長を持つ。しかし、最適解を得るまでの計算時間は長いという欠点がある。我々は、この欠点は遺伝的アルゴリズムがダーウィンの進化論に基づくことによると考える。一方、進化論はダーウィンの進化論だけではなく多くの進化論が提案されている。そこで、我々はウイルス進化論に基づく新しいアルゴリズムを提案する。ウイルス進化論は生物はウイルスにより進化するという考えに基づいている。すなわち、ウイルスの感染により遺伝子の断片が個体集団中に急速に広まり、集団を短時間で進化することになる。我々はこの点に着目し、計算時間の短い新しいアルゴリズムを提案する。

ウイルス進化論に基づく手法は、今日までにいくつか提案されている[3, 4]。それらの手法においては、ウイルスの感染は局所探索を意味し、ウイルス集団は良好な部分解の集団となる。しかし、我々の提案手法においてはウイルスの感染は唯一の探索操作であり、ウイルスは単にある一つの解の一部である。したがって、ウイルスは集団を作らず、適応度を持たず、また突然変異を起こすこともない。すなわち、我々はウイルスを生命体ではなく、遺伝子を運ぶ生物器官の一つと考え、単に染色体の一部遺伝子を置き換える機能を持つものとする。

3 提案手法

ここではウイルス進化論に基づく新しいアルゴリズムを提案する。提案手法において**集団 (population)** は、遺伝的アルゴリズムの集団と同じものを意味し、集団サイズ M でランダムに生成される。**選択 (selection)** は適応度に応じて一つの染色体を選択する。なお、その染色体はウイルス生成の元になる染色体である

(図1) . 交叉は提案手法では用いず, 集団は感染 (infection) によって進化する. 感染は次のような操作で行われる. まず選択によって選ばれた染色体上の遺伝子座を二つランダムに選択し, それらを選択した順に p_1 , p_2 とする. その p_1 , p_2 の二点に挟まれた遺伝子を取り出しウイルスとする. ただし p_2 が p_1 よりも前にあるとき, ウイルスは染色体の先頭から p_2 までと p_1 から最後までまでの2つの断片で構成される (図2) . そして, ウイルスを感染率 p_i のもと, 他の染色体に感染させる (図3) . このとき感染により各染色体の遺伝子はウイルスの持つ遺伝子に, それぞれの遺伝子座ごとに置き換わる. 言い換えるならば, いくつかの遺伝子が集団全体に拡散することになるが, ウイルスがランダムに生成されているため集団は必ずしも良くなるとは限らず, ときには悪くなる. したがって, このアルゴリズムは局所最適解に陥ることなく, 最適解を探し出すことが可能となる. 突然変異 (mutation) は感染時のエラーとして振る舞うとし, ウイルス感染により置き換えられた遺伝子を突然変異率 p_{mu} のもと, 他の遺伝子に書き換えることで実現する (図4) . そして以上の選択, 感染, 突然変異を繰り返すことで最適解を得ることが可能となる. なお, この一連の操作をここではサイクル (cycle) と呼ぶことにする.

提案手法の手順は次の通りになる.

1. 集団をランダムに生成する.
2. 適応度に応じて染色体を一つ選択する.
3. ウイルスを感染させる.
 - (a) ステップ2で選ばれた染色体上の遺伝子座を二つランダムに選択する.
 - (b) 二点に挟まれた遺伝子をウイルスとして取り出す.
 - (c) ウイルスを他の染色体に感染させる.
 - (d) ステップ(c)で置き換えられた遺伝子に対し, 突然変異を起こす.
4. ステップ2,3を繰り返す.

提案手法は, その操作が従来の遺伝的アルゴリズムに比べ軽いいため, 計算時間が短いという特長を持つ. 具体的に, まず選択について考えれば, 提案手法がサイクルごとに1回なのに対し,

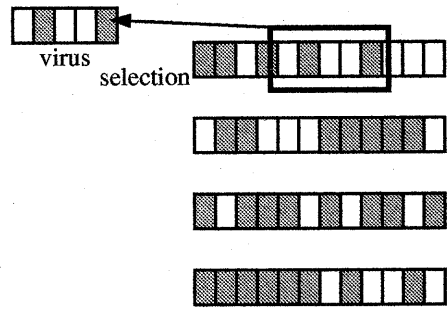


図1: 選択の例

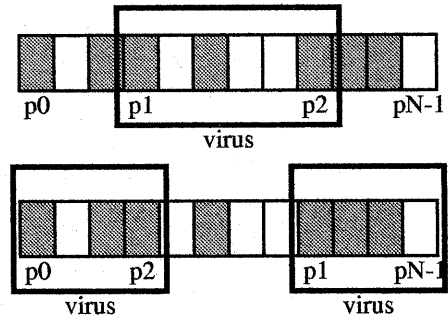


図2: ウイルスの取り出しの例

し, 遺伝的アルゴリズムでは世代ごとに M 回になり提案手法の方が操作回数が少ない. また, 交叉, 感染, 突然変異での操作の対象となる遺伝子の個数は, 染色体長を N として, 提案手法がサイクルごとに平均 $(N+1)M/2$ なのに対し, 遺伝的アルゴリズムでは世代ごとに NM となり, これも提案手法の方が少なく短時間での処理が可能である. さらに, 提案手法が集団を直接操作しているのに対し, 遺伝的アルゴリズムでは基本的に親集団から子集団を生成し, その子集団を新たな親集団にするといった操作が必要であり, この点でも提案手法の方が有利となる. 以上の理由から, 提案手法の計算時間は遺伝的アルゴリズムに比べ短縮される.

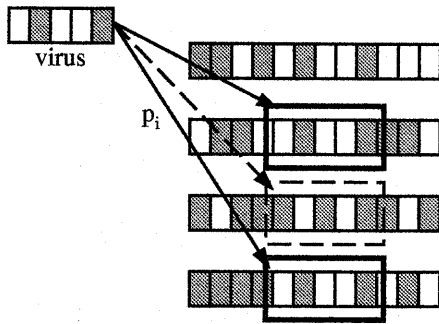


図 3: 感染の例

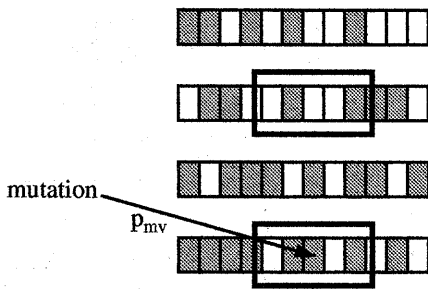


図 4: 突然変異の例

4 計算機実験

提案手法の有用性を確認するため計算機実験を行った。実験においては、提案手法と遺伝的アルゴリズムを同じナップザック問題を解くことで比較している。

ナップザック問題は次のようなものとする。荷物が N 個あり、各荷物 i ($i = 1, \dots, N$) は重量 w_i と価値 v_i を持ち、そしてナップザックの容量を c とする。このとき、ナップザックの容量内で価値を最大にする荷物の組み合わせを求める。なお、荷物の状態を示す変数 x_i を導入し、その値は荷物 i がナップザックに入っているときは 1 入っていないときは 0 とする。

表 1: 実験パラメータ

共通		
集団サイズ	M	50
染色体長	N	24
遺伝的アルゴリズム		
世代数	T_g	500
交叉率	p_c	0.95
突然変異率	p_{mg}	0.05
提案手法		
サイクル	T_c	500
感染率	p_i	0.95
突然変異率	p_{mv}	0.1

4.1 実験条件

ここでは実験条件について述べる。まず、遺伝的アルゴリズムと提案手法の両方に共通する条件は次の通りである。

コーディング: 染色体は x_i を $1 \sim N$ まで並べたものとする。

適応度: 適応度 f は次式で定義する。

$$f = \max \left[0, \sum_{i=1}^N v_i x_i - \alpha \max \left\{ 0, \sum_{i=1}^N w_i x_i - c \right\} \right] \quad (1)$$

初期集団: 初期集団は集団サイズ M でランダムに生成する。

次に、遺伝的アルゴリズムにおける条件は次の通りである。

選択: ルーレット戦略とエリート保存戦略を用い、エリート保存数は 1 とする。

交叉: 1 点交叉を用い、交叉率は p_c とする。

突然変異: 突然変異率は p_{mg} とする。

最後に、提案手法における条件は次の通りである。

選択: 最大適応度の個体を選択する。

感染: 感染率は p_i とする。

突然変異: 突然変異率は p_{mv} とする。

以上の条件下で、遺伝的アルゴリズムと提案手法の比較実験を行う。

表 2: 実験結果

	遺伝的アルゴリズム		提案手法	
	最大適応度	平均適応度	最大適応度	平均適応度
1st	191	128.3	191	136.0
2nd	189	127.9	191	133.7
3rd	190	144.3	189	120.5
4th	190	133.3	189	118.5
5th	191	141.6	191	130.5
6th	189	121.6	191	151.7
7th	190	127.1	191	144.0
8th	190	124.7	191	125.9
9th	189	147.5	191	108.3
10th	189	134.2	191	123.1
平均	189.8	133.1	190.6	129.3
平均計算時間 (s)	9.44		4.91	

4.2 実験結果

実験パラメータを表1に示す。また、適応度の式(1)において $\alpha = 100$ とする。実験結果を表2に示す。実験はそれぞれのアルゴリズムについて10回行い、その平均を算出した。なお、表2に示したのは最終結果であり、最大値と平均値は500世代もしくは500サイクル後の値である。また、計算時間はHP-9000/755ワークステーションで計算したものである。

結果からわかるように、提案手法の計算時間は遺伝的アルゴリズムのものよりも短く、その減少率は

$$\frac{9.44 - 4.91}{9.44} \times 100 = 48.0 (\%)$$

となり、提案手法の有用性が認められる。また、図5に示す計算時間と適応度の関係からも明らかのように、提案手法は遺伝的アルゴリズムに比べ短い時間で同様の探索が可能になっている。なお、この図でいう適応度は、各10回の実験での適応度の最大値を世代ごとに平均したものである。

また、今回の実験では全探索により最適解の適応度が191であることが確認されている。遺伝的アルゴリズムでは、この最適解を10回中2

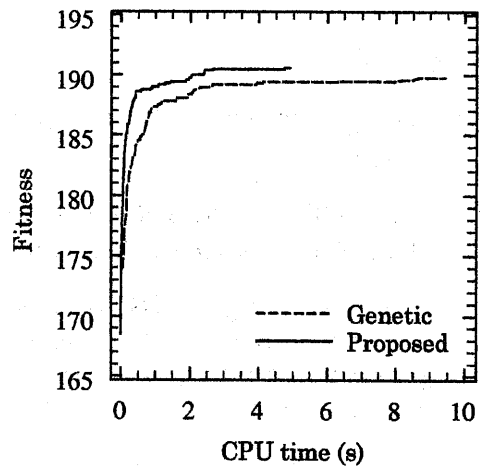


図 5: 計算時間と適応度の関係

回しか得られなかったが、提案手法では8回得ることができ、その確率は上がっている。これは提案手法の方が局所探索性に優れていることを示していると考えられるが、現状では推測の域を出ないものである。

5 むすび

本稿ではウイルス進化論に基づく新しいアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムではウイルスを遺伝子を運ぶ生物器官の一つと捉え、ウイルスの感染による遺伝子操作を唯一の探索操作とした点が、従来手法とは大きく異なっている。また、ウイルスの感染により集団全体へ遺伝子断片を急速に拡散可能であるため、その計算時間は遺伝的アルゴリズムに比べ短くなるという利点がある。

提案手法の有用性を確認するためナップザック問題を解くことにより、提案手法と遺伝的アルゴリズムを比較する計算機実験を行った。その結果、提案手法の計算時間は遺伝的アルゴリズムのものに比べ48.0%の減少が認められ、また最適解を得る確率も、提案手法の方が遺伝的アルゴリズムによるものよりも優れていることが確認された。

参考文献

- [1] 北野 宏明：“遺伝的アルゴリズム”，産業図書，1993.
- [2] Lawrence D：“Handbook of Genetic Algorithms”，Van Nostrand Reinhold，1991.
- [3] 長谷川 和代，松本 美幸，狩野 均，西原 清一：“ウイルス進化論に基づく制約充足問題の解法”，情報処理学会第52回全国大会，2E-07，1996.
- [4] Kubota N, Fukuda T, Shimojima K：“Virus-Evolutionary Genetic Algorithm for Self-Organizing Manufacturing System”，Computer & Industrial Engineering Journal, 30-4, pp.1015-1026, 1996.