

数独の解探索における共生進化の効果の検討

大谷 紀子 研究室

0832127 新谷 俊樹

1. 研究の背景・目的

現在、世界で広く普及しているペンシルパズルのひとつに数独がある。数独とは、日本のパズル雑誌『パズル通信ニコリ』で使用される名称で、“数字は独身に限る”の略称であり、ナンバープレースと呼ばれている。図1に示すような、3×3のブロックで区切られた9×9の正方形の枠内に1～9の数字を配置するパズルである。なお、縦・横の各列、および各ブロック内で同じ数字が重複してはいけない。他にも、16×16や25×25のように正方形の大きさを変更したものやルールの新規付加・一部変更をしたものが多く存在する。

5	3			7				
6			1	9	5			
	9	8					6	
8				6				3
4			8		3			1
7				2				6
	6					2	8	
			4	1	9			5
				8			7	9

図1：数独の問題例

確率的探索手法のひとつである遺伝的アルゴリズム

(以下GA)を用いた数独に関する研究はいくつか存在しているが[2]、GAでは基本操作の交叉によって有益な解を壊しやすいという問題がある。また、GAは1集団を進化させる手法であるため、集団の多様性の維持が困難であり、効果的な解を得るまでに時間がかかるという問題もある。本研究では、数独の解探索において共生進化を用いた際の効果を検討する。共生進化を用いて数独の解答を自動探索するシステムを構築し、GAを用いたシステムと比較して共生進化の効果を示すことを目指す。

2. 共生進化を用いた数独の解探索システム

数独の初期配置の情報を問題として読み込み、解答を出力する。解探索には共生進化を用いる。共生進化は、問題の解を部分解に分割して解くことで、複雑な問題をより容易に求めることができるというGAの一手法である。全体解と部分解の2集団並行進化により、最適な解への確実な収束や解集団の多様性の維持などの両者の特徴を統合した効果が示されている[1]。

3. 処理の手順

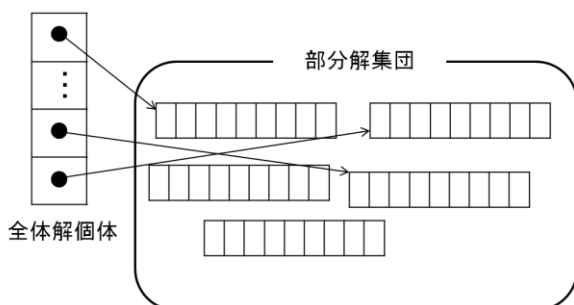


図2：全体解個体

部分解集団の個体の遺伝子は整数であり、染色体は9個の遺伝子からなる整数列である。部分解個体は、数独の解答における横一列に相当する。全体解集団の個体の遺伝子は、図2で示すような部分解集団の個体を参照するポインタであり、染色体は9個の遺伝子からなるポインタ列である。全体解個体の表現型は、当該個体に属するすべての部分解個体を用いてランダム

キーによる順位付けで生成する。遺伝子の表現方法にランダムキーを用いることで、交叉、突然変異により致死遺伝子が発生しない利点がある。部分解個体の9個の整数から、初期配置で定められている数字を除外し、昇順に整列して順位付けを行う。表現型の各値は順位の小さいものから決定し、初期配置の数字と等しい順位を持つ当該数字以上の数字にすべて1を加えることで、初期配置を反映する表現型を生成する。

全体解個体の適応度は、縦の列と3×3のブロック内で重複する要素の個数の総和に-1をかけた値である。なお、部分解個体の適応度は、当該部分解にポインタを張っている全体解個体で最も適応度の高い全体解個体の適応度とする。

世代交代では、部分解集団と全体解集団のどちらにおいても、ルーレット選択を用いて2つの親個体を選択し、一点交叉により2つの子個体を生成する。子個体に対し、あらかじめ設定した確率で突然変異を発生させ、適応度の低い順から2つの個体と入れ替える。あらかじめ設定した数の子個体を入れ替えた時点で、入れ替わらなかった個体はそのまま次の世代に残す。

4. 評価実験

難易度は初級、初期配置数は42である問題を使用して解探索処理を実行した。実験条件は、世代交代数の上限を100,000世代、全体解集団の個体数を1000、部分解集団の個体数を2000、世代交代で生成する子個体数を100、突然変異率を0.1とした。30回の実行の結果、解に到達した回数は共生進化が8回であり、GAが7回となった。

解に到達したときの平均処理時間、世代数の平均、世代数の標準偏差を表1に示す。GAは世代数の標準偏差が共生進化より小さいことから、共生進化と比べて解に到達する世代のばらつきが小さいといえる。加えて、解に到達するまでの平均世代数が共生進化よりも少ないことから、GAは共生進化よりも早い世代で解に到達していることがわかる。しかし、解出力までの平均処理時間を比較すると、共生進化はGAよりも短い時間で解探索ができていくことがわかる。

表1：解出力時の実験結果

	平均処理時間	平均世代数	世代数の標準偏差
GA	168.5	9988.3	15689.5
共生進化	158.5	27148.4	26062.2

化よりも早い世代で解に到達していることがわかる。しかし、解出力までの平均処理時間を比較すると、共生進化はGAよりも短い時間で解探索ができていくことがわかる。

5. 考察

実験では、GAは共生進化よりも早い世代で解に到達した。しかし、解に到達しなかった23回中19回は最良適応度の変化が2000世代よりも前の世代で止まっていることから、早い段階で解に到達しないと、世代交代を繰り返しても解に到達することができないと考えられる。解に到達しない場合の最良適応度の平均は、共生進化は-5.4、GAは-5.8となった。また、共生進化は解に到達する可能性が高く、平均処理時間がGAよりも短いため、効率的な処理を実行できていることがわかる。提案手法では、交叉方法が一点交叉、選択法がルーレット選択のみであることから、交叉方法や選択法を変えることでより確実に解に到達することができると考えられる。

参考文献

- [1] 大谷紀子, “共生進化の帰納学習への適用に関する研究”, 東京大学博士学位請求論文, 2006.
- [2] 佐藤祐二, 北咲也, 高嶺和也, 長谷川直広, “遺伝的操作を用いた数独解法とGPU高速化について”, 進化計算シンポジウム予稿集, pp.47-52, 2010.