数理モデル化と問題解決　32－3
（2000．11．21）

遺伝的アルゴリズムを応用した迷路配線手法

金杉　昭徳　　高橋　仁
埼玉大学　工学部　電気電子システム工学科

〒338-8570　浦和市下大久保255
TEL/FAX 048-858-3473
E-mail: kanasugi@ees.saitama-u.ac.jp

あらまし　本論文では，迷路法と遺伝的アルゴリズムに基づく配線手法を提案する．遺伝的アルゴリズムは，生物の進化の過程にヒントを得た最適化アルゴリズムの一つであり，大域的探索に優れるという特長を持つ．しかしながら，問題に適したコード化を行うことが重要である．そこで本論文では，配線順序の決定に適したコード化手法を提案し，計算機実験により有効性を示す．

キーワード　詳細配線，遺伝的アルゴリズム，コード化，迷路法，CAD

A Maze Routing Method using Genetic Algorithm

Akinori KANASUGI and Jin TAKAHASHI
Department of Electrical and Electronic Systems, Saitama University

255 Shimo-okubo, Urawa, 338-8570 Japan
TEL/FAX 048-858-3473
E-mail: kanasugi@ees.saitama-u.ac.jp

Abstract This paper presents a routing method based on the maze router and genetic algorithm. Genetic algorithm is a powerful global optimization method which is based on mechanics of natural selection and genetics. However, it is important to use the suitable coding technique. Therefore, this paper proposes a novel coding technique and shows its effectiveness by computer experiments.

key words　detailed routing, genetic algorithm, coding technique, maze router, CAD

1　まえがき

遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm）は，生物の進化の過程にヒントを得た最適化アルゴリズムの一つであり，大域的探索に優れるという特長を持っている [1]．この手法は，解の候補を染色体と呼ばれる配列形式で表現（コード化）した後，交叉，突然変異等の遺伝的操作を繰り返すことにより，解の改善を図るものであり，集積回路の設計への応用についても報告されている [2]．

そこで著者等は文献 [3] において，順序表現による遺伝的アルゴリズムを用いた配線手法を提案し，計算機実験により有効性を示した．しかしながら，結線率や処理時間の面で，改善の余地があった．そこで，本論文ではこれらを改善するための新しいコード化手法と処理の高速化について報告する．

2　提案する配線手法

遺伝的アルゴリズムでは，対象としている問題の解候補を生物の染色体を模倣した 1 次元配列形式にコード化し，ランダムに生成された初期集団に対して，交叉，突然変異，評価，選択という操作を繰り返し適用することによって，最適解を探索する方法である．

本論文では，経路の探索能力に秀でた迷路法をベースとし，配線順序を遺伝的アルゴリズムによって決定する方法を提案する．本章では提案する配線手法について，コード化，交叉・突然変異，評価関数，処理の高速化に分けて述べる．

2.1　コード化

本手法では，迷路法配線の順序を遺伝的アルゴリズムによって最適化する．そこで遺伝子には配線順序の情報を持たせる．いま，N_1〜N_5 の 5 本のネットがあり，$\{N_5, N_1, N_3, N_2, N_4\}$ の順に配線するという情報のコード化を考える．最も単純に実現するには，添字を並べ，{5,1,3,2,4} とすれば良いように思われる．しかしながら，この方法では交叉段階において多量の致死遺伝子[1] が生じる．そこで前回の報告 [3] では，順序表現 [1] を用いた．概要を以下に示す．

まず，ネット名のリスト L を作成しておく．

$$L = \{N_1, N_2, N_3, N_4, N_5\} \tag{1}$$

最初に N_5 に注目すると，これは先頭から 5 番目にあるので，染色体 P の先頭に "5" を入れ，リスト L から N_5 を削除する．すなわち，

$$P = \{5\}, \quad L = \{N_1, N_2, N_3, N_4\} \tag{2}$$

次に N_1 はリスト L の先頭にあるので，

$$P = \{5, 1\}, \quad L = \{N_2, N_3, N_4\} \tag{3}$$

とする．ネット N_3 は残りのリストの 2 番目なので，

$$P = \{5, 1, 2\}, \quad L = \{N_2, N_4\} \tag{4}$$

となる．また N_2 は先頭にあるので，

$$P = \{5, 1, 2, 1\}, \quad L = \{N_4\} \tag{5}$$

となり，最終的には，

$$P = \{5, 1, 2, 1, 1\}, \quad L = \{\ \} \tag{6}$$

を得る．このようなコード化手法を用いると，P の 1 桁目には 1〜5，2 桁目には 1〜4，3 桁目には 1〜3，4 桁目には 1〜2 の数値が入り，そして 5 桁目は常に 1 となる．これら各桁の値のとり得る範囲は交叉後も不変であり，またリストにはネット名が重複なく存在するため，致死遺伝子が生成されることはない．しかしながら，この方法ではスキマタの継承が十分ではない．そこで新しいコード化手法を提案する．

本論文で提案するコード化は以下の形式をとる．

$$P = (\boldsymbol{r}, \boldsymbol{d}) \tag{7}$$

$$\boldsymbol{r} = \{r_1, r_2, \cdots, r_{N_n}\} \tag{8}$$

$$\boldsymbol{d} = \{d_1, d_2, \cdots, d_{N_n}\} \tag{9}$$

ここで，N_n はネット本数である．いま個体数を N_p とすれば，r_i は $[0, N_n \cdot N_p]$ の乱数であり，d_i は 0 または 1 である．ここで，$\boldsymbol{r}$ はネット順序の決定に用い，$\boldsymbol{d}$ は迷路法で配線する際の配線方向の決定に用いる．初期集団においては，r_i，d_i ともに乱数で与える．このコードを元に，ネットの配線順序

$$\boldsymbol{n} = \{n_1, n_2, \cdots, n_{N_n}\} \tag{10}$$

[1] 1 つの遺伝子内に同一ネットが複数回現れたり，または 1 つも現れない等の解として不適格な遺伝子

を定める．ここで n_i は，r_i が $\boldsymbol{r}$ の中で n_i 番目に小さいことを表す．例えば，

$$\boldsymbol{r} = \{35, 7, 2, 45, 23\} \tag{11}$$

であれば，

$$\boldsymbol{n} = \{4, 2, 1, 5, 3\} \tag{12}$$

と定まる．このようなコード化を用いることにより，致死遺伝子を回避し，かつスキマタの継承が可能になる．これを検証するために，簡単な計算機実験を試みた．表 1 に円周を 32 等分したモデルの巡回セールスマン問題を解いた結果を示す[2]．ここでパラメータは，個体数 200，突然変異率 1%，エリート保存率 10%であり，一様交叉を用いた．また世代数は，1000，2000 の 2 通りで，各 10 回ずつ実行した．この結果から提案手法の優位性が確認できる．

表 1: 巡回セールスマン問題の正解率

	1000 世代	2000 世代
順序表現	30 (%)	50 (%)
提案手法	80 (%)	90 (%)

2.2 交叉・突然変異

交叉手法は一様交叉を用いる．これは，2 つの染色体の同一座標（遺伝子座）の遺伝子をランダムに相互に交換する交叉手法である．

突然変異は，遺伝子の値をランダムに書き換えることにより行う．

2.3 評価関数

一般に配線手法の評価項目としては，結線率，配線長，ビア数等がある．本手法では，迷路法をベースにしているため配線長は最短化され，また不要なビアの発生を抑えることにより，結線率だけを評価項目とする．したがって評価関数 f を，総配線本数を N_n，結線された配線本数を N_c としたとき，

$$f = \frac{N_c}{N_n} \tag{13}$$

と定める．

[2] 本論文では配線順序の決定が主問題なので，順序の決定を扱う巡回セールスマン問題を例題に選んだ．

2.4 処理の高速化

迷路法は処理時間が長いため，システム全体として高速化を図る必要がある．その一方法として，一世代前の配線経路（幾何学形状）を利用する．ここでは簡単化のため，最も評価の高い結果だけを利用する．

具体的には，ネットを配線する前に一世代前の最良結果を調べ，その幾何学形状をそのまま適用できるかをチェックし，可能であればそのまま適用する．ただし常に適用するのではなく，確率 p_r で適用する．p_r は大きいほど処理は早くなるが，解集団が画一化するため，ここでは p_r=0.9 とした．

3 計算機実験

提案した手法の有効性を確認するため，計算機実験を行った．配線モデルは一層で，各層の配線は水平方向もしくは垂直方向だけに限定し，斜め配線は扱わない．100%配線可能な 2 端子間ネットリストを乱数を用いて生成した．また遺伝的アルゴリズムに関するパラメータは，個体数 10，世代数 25，エリート保存数 2，突然変異率 20% とした．

最初に，グリッドサイズ 30 × 30，ネット 30 本の条件で，5 種類のネットリスト (N_{30a}〜N_{30e}) の配線を実行した結果を表 2 に示す．ここでは各ネットリストについて 5 回ずつ実行したときの結線率（評価値）とその平均値を示した．また迷路法単独で各ネットリストを 10 回ずつ試行したときの平均値も併せて示した（配線順序はランダムに与えた）．さらに順序表現を用いた結果（文献 [3]）もあわせて示した．同様に，グリッドサイズ 50 × 50（ネット 50 本）の結果を表 3 に示す．

これらの結果から，迷路法に比べて結線率は著しく向上していること，また順序表現を用いた結果と比較しても大幅に改善されていることが判る．また既存の配線結果を利用することにより，処理時間はおよそ 2 倍に高速化されている．

続いて，ネットリスト N_{30a}（サイズ 30 × 30，ネット 30 本）の 1 回目の配線結果を図 1 に示す．この場合は 11 世代で結線が終了した．処理時間は 11 秒であった．最後に，ネットリスト N_{50a}（サイズ

表 2: サイズ 30×30（30 本）における結線率

ネット	1	2	3	4	5	平均
N_{30a}	1	0.93	1	1	1	0.99
N_{30b}	1	0.93	0.97	0.97	0.97	0.97
N_{30c}	0.97	0.97	1	1	0.97	0.98
N_{30d}	0.97	1	1	0.97	1	0.99
N_{30e}	0.97	0.93	0.97	1	0.93	0.96
平均	-	-	-	-	-	0.98
迷路法	-	-	-	-	-	0.62
順序表現	-	-	-	-	-	0.91

表 3: サイズ 50×50（50 本）における結線率

ネット	1	2	3	4	5	平均
N_{50a}	1	0.96	1	1	0.98	0.99
N_{50b}	0.96	0.94	0.90	0.90	0.92	0.92
N_{50c}	0.94	0.92	0.98	0.96	0.92	0.94
N_{50d}	0.92	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
N_{50e}	0.92	0.92	0.94	0.98	0.92	0.94
平均	-	-	-	-	-	0.95
迷路法	-	-	-	-	-	0.60
順序表現	-	-	-	-	-	0.86

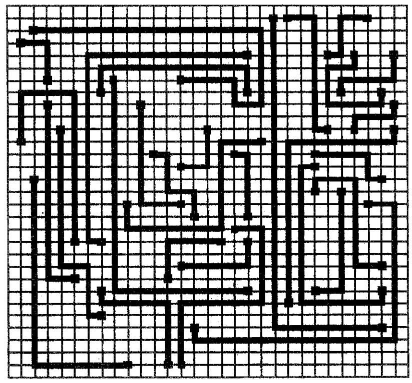

図 1: 配線結果の一例（ネット N_{30a}）

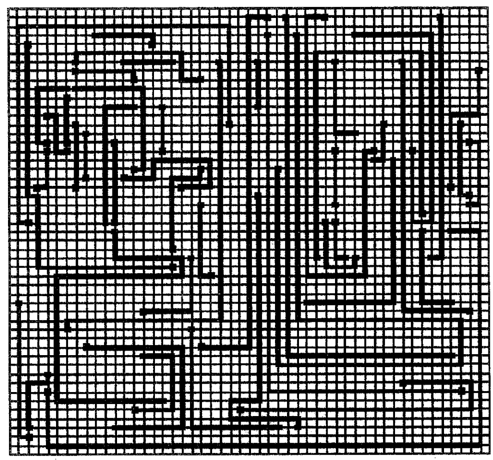

図 2: 配線結果の一例（ネット N_{50a}）

50×50，ネット 50 本）の 1 回目の配線結果を図 2 に示す．この場合は 8 世代で結線が終了し，処理時間は 67 秒であった．

4 むすび

迷路法と遺伝的アルゴリズムに基づく配線手法を提案し，計算機実験により有効性を示した．

今後は，結線率と計算時間の更なる改良を行う予定である．

参考文献

[1] 北野宏明：“遺伝的アルゴリズム”，産業図書 (1993)

[2] 金杉昭徳, “配置配線における各種アルゴリズムについて”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 2, No. 3, pp.184-187 (1999)

[3] 金杉昭徳，中谷直司，“迷路法と遺伝的アルゴリズムに基づく一層配線手法”, 情報処理学会, 設計自動化研究会資料, DA91-14 (1999)