

遺伝的アルゴリズムを用いた概略配線手法

金杉 昭徳 高原 敦史

埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科

〒338 浦和市下大久保255

TEL/FAX 048-858-3473

E-mail: kanasugi@super.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし

概略配線処理では、ネットを逐次的に処理すると、局所的な配線混雑が生じる。そこで本論文では、大域的探索に優れた遺伝的アルゴリズムを用いて、全てのネットを一括配線する手法を提案する。この手法は、予め全てのネットの経路を仮定し、染色体と呼ばれる配列形式で表現した後、交叉、突然変異等の遺伝的操作を繰り返して解の改善を図るものであり、配線順序の影響を受けない特長を有する。本論文では、手法の原理と計算機実験結果について述べる。

キーワード 概略配線, 遺伝的アルゴリズム, CAD

A Genetic Algorithm for Global Routing Problem

Akinori KANASUGI and Atsushi TAKAHARA

Department of Electrical and Electronic Systems,
Faculty of Engineering, Saitama University

255 Shimo-okubo, Urawa, 338 Japan

TEL/FAX 048-858-3473

E-mail: kanasugi@super.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract

This paper presents a novel genetic algorithm for global routing problem. Genetic algorithm is an optimization method which is based on mechanics of natural selection and genetics. The principle of presented method and the results of computer experiments are discussed in detail.

1 まえがき

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であり、大域的探索に優れている [1][2]。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した後、交叉、突然変異等の遺伝的操作を繰り返して解の改善を図るものであり、配置問題 [3][4][5] やチャンネル配線問題 [6][7][8] への応用について報告されている。

概略配線処理では、ネットを逐次的に処理すると、局所的な配線混雑が生じる。そこで本論文では、遺伝的アルゴリズムを用いて、全てのネットを一括配線する手法を提案する。この手法は、予め全てのネットの経路を仮定し、繰り返し改善してゆくものであり、配線順序の影響を受けない。本論文では、手法の原理と計算機実験結果について述べる。

2 遺伝的アルゴリズムの概要

遺伝的アルゴリズムでは、対象とす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、ランダムに生成し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。以下に各操作について述べる。

コード化 対象とする問題の解を遺伝的アルゴリズムで扱えるように染色体形式で表現する。

初期集団の生成 ランダムなモジュールの並びを持った複数の個体を生成し、これを初期集団とする。初期集団は、第1世代の親の集団となる。

選択 集団の中から、2つの個体を選択する。選択の仕方は、適応度の高い優秀な個体ほど選ばれやすくする。

交叉 選択された2つの個体から、それぞれの特徴を受け継いだ子となる個体を生成する。交叉においては、親の優れた性質

(スキマタ)を壊すことなく子に継承させることが重要である。

突然変異 突然変異は、一部の個体に対してランダムに配列の要素を操作する。この操作によって、交叉、選択だけでは作りだせない個体を作り出し、新たな解の探索を可能にする。

評価 集団に含まれている各個体を適応度により評価する。この評価値によって、次の世代での交叉に加わる確率が異なるようにして、より優秀な個体が残るようにする。

これらの選択、交叉、突然変異を一代として、これを予め定められた世代数実行し、最終的に得られた解の中で、最も優秀なものを最終解とする。

3 提案する配線手法

提案する手法は、予め全ネットの配線経路を仮定して、遺伝的アルゴリズムにより改善するので、配線順序の影響はない。しかしながら、コード化、交叉などの遺伝的操作を適切に行わないと、ランダムサーチと同じ結果になり、求解が困難になる。

以下では提案する配線手法について、モデル、コード化、交叉手法、突然変異、評価関数、初期集団の生成に分けて述べる。

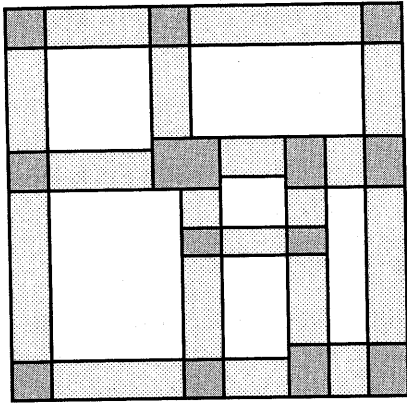
3.1 モデル

本論文で対象とするモデルを図1に示す。セルは全て形状が確定しているものとし、セル上は配線禁止領域とする。

3.2 コード化

コード化の準備として、図2に示すような概略配線グラフを求める。

ここで、 $S_1 \sim S_{13}$ はスイッチボックス、 $C_1 \sim C_{18}$ はチャンネルを表す。いま、端子 P_s 、 P_d 間を



セル チャンネル
スイッチボックス

図 1: 対象とするモデル

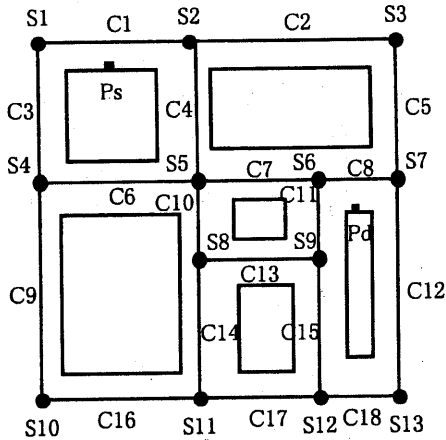


図 2: 概略配線グラフ

結ぶネットを例に配線経路のコード化について検討する。まず、チャンネルを基に考えれば、

$$C_1 \rightarrow C_4 \rightarrow C_7 \rightarrow C_8 \quad (1)$$

となり、これをチャンネル番号を列挙することによりコード化すれば、

$$\{1, 4, 7, 8\} \quad (2)$$

を得る。しかしながら、これを染色体とし遺伝的アルゴリズムを実行すれば、交叉によ

て無意味な経路が生じる(致死遺伝子の発生)確率が高い。そこで、各チャンネルに対し、ネットの通過を許可するか(1を割り当てる)、否か(0を割り当てる)によりコード化を試みる。この例では、

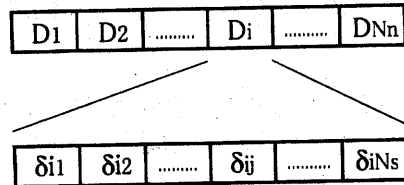
$$\{1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, \dots\} \quad (3)$$

となる。これは、チャンネル C_1, C_4, C_7, C_8 がネットの通過を許可していることを意味する。このようなコード化は冗長性を有し、致死遺伝子の抑制とスキマの保存に有利だと考えられる。また、染色体長が一定のため、扱いやすいというメリットもある。

一方、スイッチボックスを基にしても同様な表現が可能である。すなわち、

$$\{0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, \dots\} \quad (4)$$

となる。この例では、スイッチボックス S_2, S_5, S_6 がネットの通過を許可していることを意味する。一般にスイッチボックスの個数 (N_s) の方がチャンネルの個数 (N_c) よりも少なく、記憶容量、処理時間の面で有利なことから、スイッチボックスを基に図3に示すコード化を用いる。このとき、1個体あたりの必要記憶容量は、ネット本数を N_n としたとき、 $N_n \times N_s$ ビットになる。



D_i : ネット i に関するコード

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1; \text{ ネット } i \text{ がスイッチボックス } j \text{ を通過可能} \\ 0; \text{ ネット } i \text{ がスイッチボックス } j \text{ を通過不可} \end{cases}$$

図 3: コード化

3.3 交叉手法

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。また、個体の選択にあたってはルーレットホイールアルゴリズムを用いる。

3.4 突然変異

本手法では、突然変異率と呼ばれる確率によって遺伝子をランダムに書き換えている(0, 1を反転)。

3.5 評価関数

個体の評価関数を計算する前に、まず概略配線経路を探索する。アルゴリズムの概要を以下に述べる。

Step 0 配線経路の先頭に始点の領域¹をセツトする。

Step 1 始点(P_s)が終点(P_d)と同じ領域に存在するかを調べる。もしそうであれば、終了する。

Step 2 現在の領域から到達可能な²領域を調べ、そこに終点があるか調べる。もしそうであれば、その領域を配線経路として終了する。

Step 3 次に進むスイッチボックスを決定する。

Step 3.1 現在の領域から到達可能なスイッチボックス領域をリストアップする。

Step 3.2 Step 3.1 のスイッチボックス領域の中から遺伝子情報が1のものを選択する。もしなければ、未配線として終了する。

Step 3.3 Step 3.2 のスイッチボックス領域の中から、スイッチボックス番

¹ここで領域は、チャンネル領域とスイッチボックス領域のいずれかを指す。

²ここで到達可能とは、遺伝子情報に関わらず、概略配線グラフ上で隣接されているか否かを意味する。

号の最も小さなものを選択し³、配線経路に加える。

Step 3.4 Step 3.3 のスイッチボックスが再び経路として選択されるのを防ぐため、その遺伝子情報を0に書き換える。

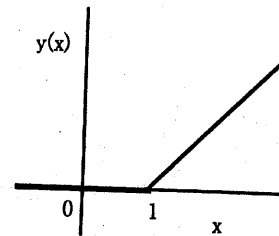
Step 4 Step 2 に戻る。

評価関数式としては、次式を用いる。

$$f = \exp \left\{ - \left(\alpha \frac{N_{nc}}{N_n} + \beta \frac{L_t - L}{L} + \gamma y(J_m) \right) \right\} \quad (5)$$

$$L \equiv L_m \frac{N_n - N_{nc}}{N_n} \quad (6)$$

ここで、 N_n はネットの総本数、 N_{nc} は未配線ネットの本数、 L_t は実際に配線されたネットの総配線長(未配線ネット分は含まない)、 L_m は全ネットの始点と終点のマンハッタン距離の総和、 J_m は最も配線が混雑しているチャンネルの混雑度(=通過配線本数/許容本数)、 α 、 β 、 γ は重み付けの定数である。また、関数 $y(x)$ は、チャンネルの混雑度が1を超えた分にペナルティを課すための関数である(図4)。



$$y(x) = \begin{cases} x - 1; & x > 1 \\ 0; & x \leq 1 \end{cases}$$

図4: 関数 $y(x)$

3.6 初期集団の生成

初期集団は、乱数によりランダムに生成する。なお、他の手法による結果を初期値として

³スイッチボックス番号の最も大きいものを選択しても本質的な相違はない。

本手法で改善することも考えられるが、今回は行っていない。また、遺伝子の“1”の頻度を上げれば配線経路の探索は容易になるが、今回のアルゴリズムの場合では迂回経路が生じやすくなるため、“1”の確率は、0.5に抑えた。

4 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。Windows95のVisual Basic (コンパイラ使用)を用いて実装し、DOS/Vパソコン(Pentium 133MHz)で実行した。図5に計算機実験に用いた例題のセル配置と、前処理によって抽出したチャンネル(薄いハッチング領域)、スイッチボックス(濃いハッチング領域)を示す。ここでは、セル数11個、ネット数45本とした。また、チャンネルは33個、スイッチボックスは23個となった。

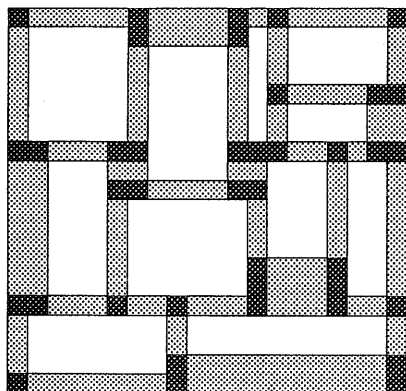


図 5: 例題のセル配置と抽出したチャンネルとスイッチボックス

遺伝的アルゴリズムに関するパラメータは、個体数120、突然変異率0.01、エリート保存数34、最長世代数200とした。最初に、総配線長やチャンネルの混雑度を考慮しない場合($\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 0$)について実験したところ、193世代で全ネットが配線され、実行時間は1世代あたり約6秒であった。続いて、総配線長を考慮した場合($\alpha = 1, \beta = 0.2, \gamma = 0$)は、総配

線長が約36%短縮し、またチャンネルの混雑度を考慮した場合($\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 0.01$)では、チャンネルの混雑度(J_m)が約15%減少した(ただし、この例では $y(x) = x$ とした)。

なお、交叉手法を一様交叉から、1点交叉および2点交叉に変更しても、結果に大きな相違は見られなかった。

5 むすび

概略配線を、遺伝的アルゴリズムを用いて実行する手法を提案し、計算機実験により有効性を示した。

なお今後の課題として、配線経路の探索におけるスイッチボックスの選択方法や、評価関数における重み付け定数値(α, β, γ)の検討、等が挙げられる。

参考文献

- [1] 北野宏明：“遺伝的アルゴリズム”，産業図書(1993)
- [2] 玉置，喜多，岩本，三宮：“遺伝アルゴリズムI-GAの基礎-”，システム/制御/情報，Vol. 39, No. 6, pp. 295-302 (1995)
- [3] J. P. Cohoon and W. D. Paris：“Genetic Placement”，*IEEE Trans. CAD*, Vol. 6, No. 6, pp. 956-964 (1987)
- [4] 井上，島本，坂本：“遺伝的アルゴリズムを用いたモジュール配置手法”，信学論(A)，vol.J77-A, No.8, pp.1189-1191 (1994)
- [5] 進藤，金杉，中谷，森末：“ネット形状の保存を考慮した遺伝的配置手法”，信学技報，VLD96-29 (1996)
- [6] 谷口，劉，坂本，島本：“遺伝的アルゴリズムを用いたチャンネル配線の試み”，信学論(A)，vol.J76-A, No.9, pp.1376-1379 (1993)

- [7] A. T. Rahmani and N. Ono : "A Genetic Algorithm for Channel Routing Problem", *Proc. of the 5th Int. Conf. on Genetic Algorithms*, pp. 494–498 (1993)
- [8] V. N. Davidenko, V. M. Kureichik and V. V. Miagkikh : "Genetic Algorithm for restrictive Channel Routing Problem", *Proc. of the 7th Int. Conf. on Genetic Algorithms*, pp. 636–642 (1997)