

配線問題へのGA的アプローチ — 制約付きグラフ描画問題の一例 —

函館高専 ○浜 克己 札幌学院大 皆川 雅章
北大工 嘉数 侑昇

要 旨

本稿では、GAを用いて電気ケーブルの配線問題を解くためのアプローチを記述する。ケーブルやパイプの最短経路の決定は、工業における一般的な最適化問題であるが、種々の空間制約に依存してその複雑さを増す。我々の問題設定では、他の配線問題と同様に直線的なスタイナー木を考慮することが合理的であり、与えられるすべての点を接続する最小コストの配線経路を見つけるための方法論とその計算機実験を示す。

1. 緒 言

グラフは、具体的な情報やシステム要素間の関係構造を抽象的に表現するための便利な概念である¹⁾。グラフの視覚化が概念伝達の有効な手段として機能するためには、良い図を自動的に生成することが要求され、これまでも種々のグラフ描画法が提案されている²⁾。このような一般のグラフ自動描画問題では、その評価基準として可読性や美しさを使用している場合が多いが、配線問題では、審美性よりも資源や信頼性に関連した制約に重点が置かれる。ここでは配線問題を制約付きグラフ描画問題の一つと見なすが、実際の作業では次のようなことが問題点となる：1) 問題サイズと与えられる幾何的または技術的制約に依存してその複雑さを増す。2) 全域木を使用するが、最小全域木が必ずしも配線の適切な初期構造とは限らない。

そこで、本研究では決定した全域木の各枝に対して配線を見つけるためと、その木自身の異なる構造を選ぶためにGAを適用した効果的な解探索手法を提案し^{3) 4)}、計算機実験によってその有効性を検証する。

2. 問題の記述

配線問題 P を次のような6項組で表現する。

$$P = (S, Q, U, \Phi, \Lambda, E) \quad (1)$$

S : 配線空間 Q : 端点の集合
 U : 端点の属性値の集合 Φ : 配線のための写像
 Λ : 配線結果 E : 評価

これより、最終的な配線問題は以下のように表現される。

$$\text{find } \Lambda \text{ such that } \min L + \Psi \quad (2)$$

$$\Lambda = \Phi(S, Q, U) = \{\lambda_i \mid i = 1, 2, \dots, N_{TERM} - 1\}$$

$$S = (\Sigma^{OPEN}, \Sigma^{OBS}), \Sigma^{OPEN}: \text{配線可能領域}$$

$$Q = \{q_i \mid i = 1, 2, \dots, N_{TERM}\} \{q_i \in \Sigma^{OPEN}\}$$

$$L: \text{総配線長}, L = \sum_i |\lambda_i|$$

Ψ : ペナルティ項 (制約条件を乱す場合に追加)

3. 空間表現と制約 (図1)

以下のように、配線空間をセル構造で表現する。

$$C = G(S) = \{(x, y, a) \mid x \in X, y \in Y, a \in A\} \quad (3)$$

$$X = \{1, 2, \dots, N_x\}, Y = \{1, 2, \dots, N_y\}, A = \{0, 1\}$$

ここで、 A の要素0, 1は、配線可能領域か否かを示す。これにより、端点(例えば電源供給部)は $a = 0$ の1つのセルで、障害物(例えば電気機器)は $a = 1$ のセルの集合でそれぞれ表されるものとする。また、実空間では、空間制約のために与えられる端点間を必ずしも直線で結ぶことができない場合があるので、経由点の追加を許可し、直交化した配線を行う。そのため、経由点の候補集合 Π は、与えられる端点を通る水平、垂直な直線の交点のうち、配線可能領域にあるものとして以下のように表現される。

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \Phi_1(sg_x, sg_y) \mid sg_x \in SG_X, sg_y \in SG_Y \right\} - \Omega \\ &= \left\{ (x, y) \mid x \in C_X, y \in C_Y, \text{chk}(x, y) = 0 \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

SG_X, SG_Y : 端点を通り X 軸, Y 軸に平行な直線集合

Ω : 交点のうち配線不可領域の点集合

C_X, C_Y : 端点の X 成分, Y 成分の集合

$\text{chk}(x, y)$: (x, y) 位置の配線の可否状態を返す関数
 解を導くための開始点として全域木を使用するが、それを次のようなグラフ表現で表す。

$$T_s = \Phi_1(Q) = (Q, E_s) \quad (5)$$

$$E_s = \{e_i \mid i = 1, 2, \dots, N_{TERM} - 1\}$$

$$e_i = \left\{ (p_B^i, p_E^i) \mid p_B^i, p_E^i \in Q \right\}$$

さらに、各枝は端点間に経由点を介した点群の連続として以下に表され、配線はこれらの点を連結して獲得される。

$$\lambda_i = \Phi_2(e_i) = (p_B^i, B_i, p_E^i) \quad (6)$$

$$B_i = \{b_j^i \mid j = 1, 2, \dots, N_i\} \quad (b_j^i \in \Pi)$$

すなわち、配線は経由点の候補点でのみ方向を変えること

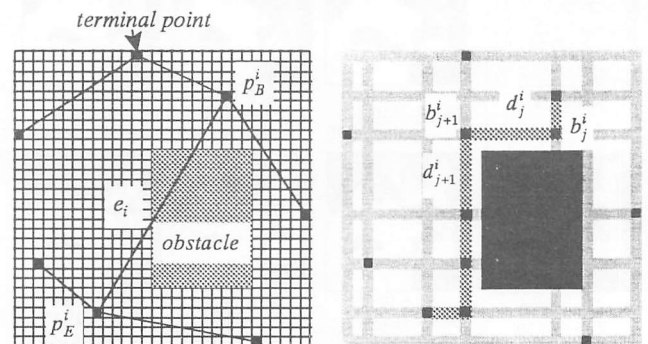


Fig.1 Space representation and orthogonal routing

ができるものとし、その変化は以下のように表現される。

$$b_{j+1}^i = \delta(b_j^i, \epsilon(b_j^i), d_j^i) \quad (7)$$

$\epsilon(b_j^i)$: 周囲4方向の状態を返す関数

$d_j^i \in D, D = \{Forward, Backward, Left, Right\}$

配線に対する制約条件として、以下の3つを考える。

- 1) 配線間の重なりを多くする。
- 2) 直線部が長く、角を少なくする。
- 3) 壁・機器類の回りに沿わせる。

4. アプローチ方法

GAに基づくアルゴリズムでは2種類のストリングを使用する。一つは全域木を一意に決定するための端点の並びであり⁴⁾、以下のように表現される。

$$S_i = \{T_i | i = 1, 2, \dots, N_{PSIZE}\} \quad (8)$$

$$T_i = t_1 t_2 \dots t_{N_{TERM}-2} \quad (t_j \in Q)$$

もう一つはその木の各枝に対する配線を表現するためのパターン列であり、以下のように表現される。

$$S_e = \{DE_i | i = 1, 2, \dots, N_{PSIZE}\} \quad (9)$$

$$DE_i = D_1 D_2 \dots D_{N_{SEG}}$$

$$D_j = d_1 d_2 \dots d_{N_j} \quad (d_k \in D, N_j \leq N_{str})$$

各ストリングの性能を評価するために次のような評価関数を設定し、最大値を持つものを解として採用する。

$$F_i = a_1 \sum_{j=1}^{N_{SEG}} f_j + a_2 K, \quad f_j = \frac{1}{\alpha L_j + \beta C_j + \gamma W_j} \quad (10)$$

ここで、

L_j : 枝の長さ C_j : 角の数

W_j : 配線が機器や壁に沿わない長さ

K : 木のすべての枝に対する配線間の重なり長さ

$a_1, a_2, \alpha, \beta, \gamma$: 係数

これより、高い性能を持つストリングが高い確率で再生されるが、2つの親を選ぶための選択方法として比例戦略とエリート戦略を併用する。

交差は、2点交差を基本として、枝単位で実行される。2つの同じ格子点(交差点に相当)を持つ異なる枝を選び、その間の配線を部分的に評価して、よい方の部分枝が子に継承される。また、突然変異は、いくつかの端点の度数を変えることによって全域木の構造を変化させる。

5. 計算機実験

以上の問題設定に基づき、GAによる解法の有効性を検証するために頃なる条件下でいくつかの実験を行なった。ここでは、以下の実験条件に対する結果を示す。

- 空間サイズ: $N_x = 100, N_y = 100$
- 端点の個数: $N_{TERM} = 100$
- ストリングの最大長: $N_{str} = 200$
- 母集団サイズ: $N_{PSIZE} = 100$
- 突然変異確率: 0.5
- $a_1 = 10, a_2 = 0.1, \alpha = 0.1, \beta = 0.8, \gamma = 0.3$

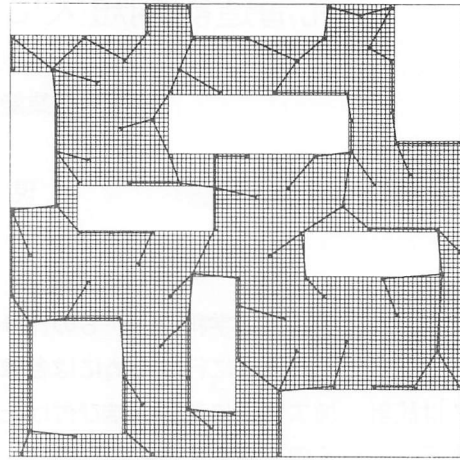


Fig.2 The result of spanning tree

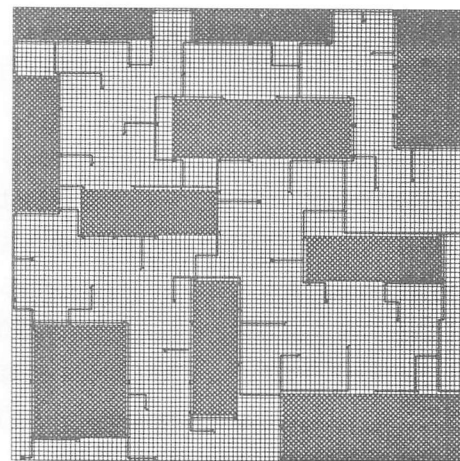


Fig.3 The result of routing

図2に配線のための初期状態として使用された全域木の結果を、また図3に配線結果をそれぞれ示す。配線結果についてはまだ改善の余地はあるが、全配線空間に渡ってループを作らないなど与えられる制約条件を満足するという点からは、比較的よい結果が得られている。

6. 結言

配線問題を解くためにGAに基づくアプローチを提案し、良い配線結果を得るために、与えられる端点の集合から全域木の決定的な生成とその木の各枝に対する確率的な配線を組合せる方式を取った。また、いくつかの計算機実験を通じて提案方法の有効性が確認された。

参考文献

- 1) Wang, X. and Miyamoto, I., Generating Customized Layout, Graph Drawing, Springer, 504-515, 1996
- 2) 杉山公造, グラフ自動描画法とその応用, 計測自動制御学会学術図書, 1-43, 1993
- 3) Ho, J. M., Vijayan, G. and Wong, K., New Algorithms for Rectilinear Steiner Tree Problem, IEEE Trans. on Computer-Aided Design, vol.19, no.2, 185-193, 1990
- 4) Julstrom, B. A., A Genetic Algorithm for the Rectilinear Steiner Problem, Proc. of the Fifth International Conference on GAs, 474-480, 1993