

最適化に基づく並列配線 - 方式 -

6U-5

河村 薫, 三渡 秀樹, 澁谷 利行, 進藤 達也, 梅田 政信
 (株)富士通研究所

1. はじめに

近年, 集積回路の高集積化が急速に進んでおり, CAD システムの性能改善が強く望まれている. 自動配線システムでは, 配線率を向上させる手段として Rip-up and reroute 手法の採用^{(1), (2)} や並列処理によるハードウェア router⁽³⁾ の研究が行われているが, 十分な配線性能が得られていないのが現状である.

我々は, 配線問題を最適化問題として処理する新しい配線方式を考案した. この方式の特徴は, 配線長・ビア数・パターンの交差数をコストとみなし, 全ネットを繰り返し配線しながらコスト値の最小化を図ることである.

方式の概要を述べる.

2. 定義

[交差の定義]

異なるネットのパターンが十字に交差した状態をクロスと呼び, パターンがクロスせずに配線セルを共有した状態をオーバーラップと呼ぶ. 図1にそれぞれの状態を示す.

[コスト関数の定義]

コスト関数 F を以下の式で定義する.

$$F = a \times \text{配線長} + b \times \text{ビア数} + c \times \text{クロス数} + d \times \text{オーバーラップ数}$$

ここで, a, b, c, d をコスト係数と呼ぶ. a, b は 1 以上の整数, c, d は 0 以上の整数である.

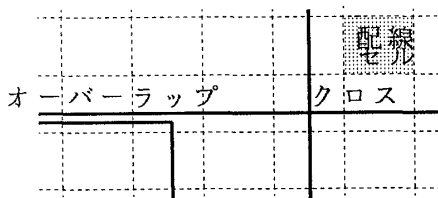


図1 クロスとオーバーラップ

3. 経路探索

経路探索方式としては, 迷路法を使用する. 但し, 配線セルのラベル値はソースから見た時のコスト値とする. コスト値の計算は, あるセルから距離 1 だけ進んだ時に元のセルのコストに値 a を加算し, ビアを発生した時に値 b を加算する. 同様に, 既存パターンをクロスした時, オーバーラップした時にはそれぞれ c, d だけのコスト値を加算する. 各セルでは, 最小のコスト値を与えた方向の隣接セルを親のセルとし, 経路決定時に親セルの方向にバックトレースする.

ここで, 次の 3 点に注意する必要がある.

(1) セルの分割

ラベリング時に既にパターンが存在するセルでは, 既存パターンの両側で異なるラベル値が与えられる. この様子を図2に示す.

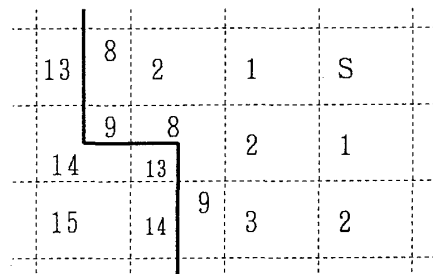


図2 セルの分割とラベリング
 ($a = 1, b = 10, c = 5$)

(2) 終了判定

本方式では, 最短経路が最小コストの経路とは限らないために, ラベル値の書き換えが発生する可能性がある. 従って, ターゲットにラベルがついた後も, 全てのウェーブフロント上のセルのコスト値がターゲットのコスト値を越えるまで, 経路探索を続ける必要がある. 図3(a), (b)にラベル値の書き換えの例を示す.

Parallel router based on optimization -algorithm-

Kaoru KAWAMURA, Hideki MIWATARI, Toshiyuki SHIBUYA, Tatsuya SHINDO, and Masanobu UMEDA.
 Fujitsu Laboratories Ltd.

13	8	2	1	S
14	9	□	2	1
		4	3	2

(a) ラベル距離が4の時

12	8	2	1	S
11	9	□	2	1
5	4	3	2	

(b) ラベル距離が7以上の時

図3 ラベル値の書き換え
($a = 1$, $b = 10$, $c = 5$)

(3) 経路探索の繰り返し

本方式では、パターンの交差を認めているが、最終的には交差を禁止する必要がある。これは、交差に関する係数 c , d の値を0から変化させて最終的に ∞ まで大きくすることによって実現する。

4. 従来方式との比較

〔配線性能〕

本方式では、コスト係数 c や d の値を大きくすることによってパターンが交差が次第に回避される。この意味で、本方式は従来の Rip-up and reroute 方式を含んでいるといえる。

また、コスト係数を変化させながら全ネットの経路探索を繰り返すことによって、配線結果の配線順序依存性を小さくすることが可能であり、従来方式よりも高い配線率を達成できると考えられる。

〔メモリ〕

本方式は通常の迷路法よりも大きなメモリを必要とする。これは、各セルでコスト値を記憶する必要があることと、上で述べたようにセルが分割されることによる。

〔速度〕

本方式は、通常の迷路法よりも処理速度が遅くなる。これは、セルのコスト値が書き換えられることとネットの経路探索を繰り返す必要があるからである。

5. 並列性

迷路法ではウェーブフロントに存在するセルを並列に処理できることが知られているが、従来方式では、既存の配線パターンを障害物とみなしていたため、複数ネットの同時探索は不可能であった。

本方式では、複数ネットの並列配線が可能である。この実現の為に、あるコスト係数の集合が与えられた時に、その係数を固定したまま全ネットの経路探索を繰り返し実行すれば良い。経路探索の途中で他のネットのパターンが存在するセルではオーバーラップやクロスのコストを計算し、パターンが無い場合には距離のコストを計算する。この時、あるセルにおいて複数の経路が同時に決定されている場合には、最小コストの経路が決定できないが、経路探索を非常に大きな回数繰り返すことによって、確率的に他のネットの経路を正しく認識できる可能性が高くなる。

6. まとめ

交差を認めた並列配線方式について述べた。この方式は、パターンが交差をコストとみなし、コスト値最小化を図ることを特徴とする。通常の迷路法より大きなメモリを必要とし、ネット当たりの経路探索速度も遅くなるが、従来の Rip-up and reroute 方式よりも高い配線率を達成できると考えられる。また、複数のネットを同時に経路探索できるという高い並列性を持っている。

現在、このアルゴリズムを高速に処理できる専用ハードウェアの開発を進めている。

謝辞

日頃御指導いただく、石井部長、白石室長に深謝します。

参考文献

- (1)大附, 「配線処理手法」, 情報処理, Vol. 25, No. 10, 1984.
- (2)K. Kawamura, 他, 「Hierarchical Dynamic Router」, Proc. 24th DAC, 1986.
- (3)T. Shindo, 他, 「Cooperative Routing Technique」, IFIP WORKSHOP ON CAD ENGINES, 1987.
- (4)三渡, 他, 「最適化に基づく並列配線—評価—」, 本大会予稿, 1988.