

ラバーバンドモデルに基づいた逐次配線手法の実装

粟島 亨 田中 博 福井 省三 佐藤 政生 大附 辰夫

早稲田大学 理工学部

あらまし

径路トポロジーの標準形であるラバーバンド表現に基づいた単層 2 点間ネットに対する逐次配線手法を提案する。本手法はトポロジー的に存在する径路は必ず発見することができる。また、最終段階に行われる幾何学的変換処理によって、径路の押し退け、すなわち、shove asiding が自然に実現できる。本手法を可視グラフを基本探索構造として計算機上の実装し、いくつかの例題に適用することにより、その有効性を実証した。

Implementation of a Sequential Routing Algorithm Based on Rubber-Band Model

Toru Awashima, Hiroshi Tanaka, Shozo Fukui,
Masao Sato, and Tatsuo Ohtsuki

School of Science and Engineering, Waseda University
3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169, Japan

Abstract

A routing algorithm for single layer problem based on a canonical form of path topology called rubber-band representation is proposed. This algorithm always finds a path if it exists topologically. By applying geometric transformation as a final process, shove asiding can be done in an effective manner. A visibility graph is selected as an underlying search graph. The algorithm is implemented and applied to some examples. Experimental results demonstrate effectiveness of rubber-band representation.

1. まえがき

現在、LSIやプリント基板の詳細配線においては迷路法や線分探索法といった逐次配線手法が広く普及している。逐次配線の問題点の一つとして、既配線障壁によりそれ以降の配線が不可能となる場合があることが挙げられる。この問題に対処する最も一般的な方法は引き剥し再配線手法(rip-up and reroute)である。

既配線の引き剥がしは、配線トポロジーの変更を意味するが、既配線のジオメトリを一部変更するだけで配線が可能となる場合もある。この性質に着目したのがいわゆるshove asidingであり、障壁となっている既配線を一部押し退けることによって未配線ネットの配線を可能にする。しかし、押し退けるべき既配線の選択や実際の変更処理を効果的に行うことは難しい。これは、通常の逐次配線手法においては、既配線はそのジオメトリが確定され、障害物と同様に管理されることに起因する問題であると考えられる。

我々は、上記の問題に対処する方法として、配線トポロジーをラバーバンドモデル[1],[2]に基づいて表現する逐次配線手法を提案している[3]。提案した手法は配線領域に発生させた探索グラフ(可視グラフの部分グラフ)によってラバーバンド径路を管理するもので、逐次配線にみられる上記の問題に自然な形で対処することができる。本稿では、ラバーバンド逐次配線手法を計算機上に実装し、実際に配線問題に適用した結果について報告する。

2. Shove Asiding

本節ではまず既配線のジオメリー管理に基づく配線手法におけるshove asidingについて整理する。

引き剥し再配線では、未配線ネットが発生した場合、障壁となる既配線を引き剥がし、未配線ネットを配線した後に引き剥がしたネットの再配線を行なう。引き剥すべき既配線ネットの選択、および再配線の可能性の保証はいずれも非常に難しい問題である。一方、shove asidingでは既配線を引き剥がすのではなく、既配線の接続を保ったままその一部を押し退けることにより新たな配線スペースが確保され、未配線ネットの配線が行なわれるので、再配線の考慮は必要ない。したがって、本質的に引き剥しが必要であるような場合以外は、可能な限りshove asidingによって未配線に対処する

方が妥当であると考えられる。

Shove asidingの方法としては、反復改良によるものと対話型処理によるものが提案されている。反復改良によるものとしては、Rubinによる手法[4]やTouch and Cross Router[5]等がある。これらはいずれも迷路法に基づいており、交差を許容するところから始めて、探索コストを書き換えながら配線が反復され、結果としてshove asidingが実現される。一方、対話型システムで用いられている手法としてはMagicレイアウトシステム[6]で用いられているplowing[7]や、PLANETシステムで用いられているプッシュルーティング、カラプスルーティング[8]等がある。これらは基本的に設計者の指示によって、既配線の押し退けを行うものである。ここではshove asidingを直接的に実現している、対話処理に基づく手法に焦点を当てる。以下に、各手法についてまとめる。

・ Magicシステムにおけるplowing

設計者が移動すべき配線と移動距離を指定すると、その情報にしたがって既配線の移動を行い配線スペースを確保する機能である。具体的には、領域中に仮想的な線分を生成し、この線分を指定方向に指定距離だけ移動するという処理を実現したものである。

・ PLANETシステムにおけるプッシュルーティングおよびカラプスルーティング

プッシュルーティングは、端子周辺の配線とビアを移動して、端子からの配線引き出しスペースを確保する機能である。押し退ける配線は、線分探索を行なうとき、発生した線分がぶつかったものとする。既配線の最大移動距離は設計者が与える。カラプスルーティングは与えられた領域内の既配線を指定方向に押し退ける機能である。

上に挙げた2つの方法はいずれも有効なものであるが、どの既配線のどの部分をどの程度押し退ければ良いかという指針は示されていない。既配線をそのジオメトリによって管理する手法では、shove asidingを行うべき場所を特定するのが困難であり、また処理が成功するか否かは、実際に処理を実行するまで判定することができない。

3. ラバーバンドモデルによる径路表現

前述したように、既配線のジオメトリーを管理する手法では、shove asidingすべき、あるいはshove asiding可能な場所の特定が難しい。そこで、この問題を解決するために径路のトポロジーを表現する標準形としてのラバーバンドモデル[1],[2]を導入する。ラバーバンドモデルによって既配線のトポロジーを管理することにより、逐次配線においてshove asidingを効果的に行うことが可能となる。

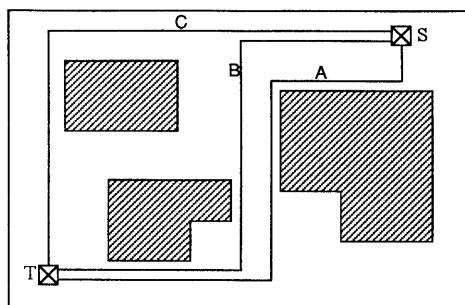
ラバーバンドモデルを導入する前に、まず扱う配線問題を定義する。本稿では、以下のような平面配線問題を考えている。

平面配線問題

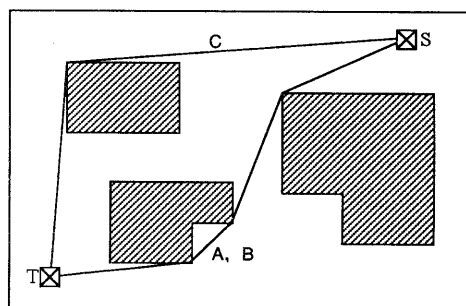
与えられた全ての2点間ネットを平面上に交差なく配線する。禁止領域は複合同形として表され、各端子は禁止領域の境界上あるいは領域中に点として与えられる。

配線経路のラバーバンドモデルによる表現（以下単にラバーバンド表現とする）とは、互いにホモトピックな配線表現のうち、その径路長が最短であるものをいう。このような表現は唯一存在する。したがって、ラバーバンド表現は径路のトポロジーを表現する標準形として最適なものである。いま、図1(a)のように2点sとtを結ぶ3つの径路A,B,Cについて考える。各径路をゴムのようなものと考え、各径路は収縮して同図(b)のように障害物の凸頂点でのみ曲がる径路となる。このような径路が同図(a)のラバーバンド表現である。径路のジオメトリーを管理する手法では径路A,Bは区別されるが、ラバーバンド表現を用いると両径路はトポロジー的に同一視できる。

ラバーバンド表現では径路は交差しない限り互いに重なる（折れ曲がりや直線部分を共有する）ことを許されている。したがって、トポロジー的に径路が存在する場合は必ずその径路が発見され、shove asidingも自然に実現される。図2(a)では、ラバーバンド表現の性質として既配線と障害物の間に割り込むような径路が探索され、同図(b)によって各径路にジオメトリーを与えることで、shove asidingが実現されている。ラバーバンドは障害物間の配線フローを正確に表しているため、上記の処理が可能であるか否かは多項式時間内に判定することができる。

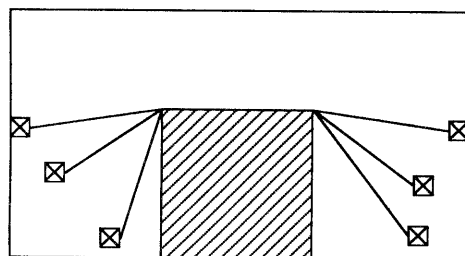


(a) 3 径路 A, B, C

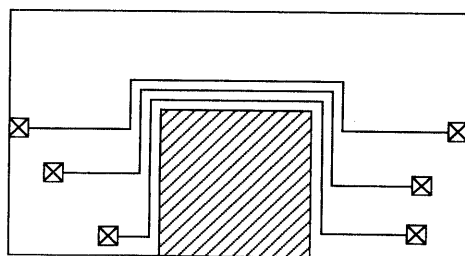


(b) ラバーバンド表現

図1 ラバーバンド表現



(a) ラバーバンド表現



(b) ジオメトリカル表現

図2 Shove asiding効果

4. アルゴリズム

径路のラバーバンド表現は障害物の凸頂点あるいは端子でのみ折れ曲がるような多角形径路となる。このような径路は領域中に発生させた可視グラフ上で探索できる(図3参照)。径路が確定されたら、それ以降の探索においても径路の平面性が保たれるように探索グラフを切り開き更新する(カットオープン, 図4参照)。以上の操作を未配線のネットが存在する限り繰り返す。その後、配線同士あるいは配線-障害物間の設計規則を満足させるためにスポーク(図5の矢印)を発生させ、最後に最終配線への幾何学的変換処理を施す。以下にこのアルゴリズムの概要を示す。

ラバーバンド逐次配線アルゴリズム

探索グラフ生成

while (未配線のネットが存在) {

 最短径路探索

 探索グラフ更新

}

幾何学的変換処理

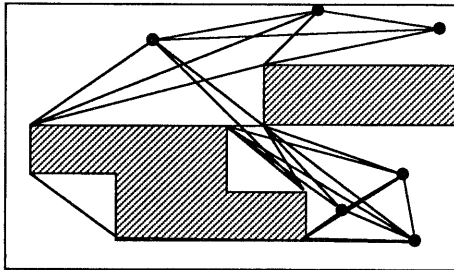


図3 可視グラフ

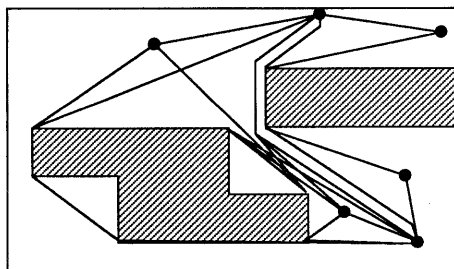


図4 カットオープン

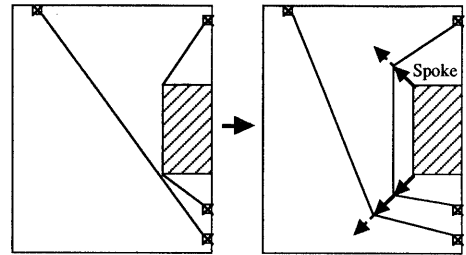


図5 スポーク作成

以下に各処理の内容を詳述する。

・探索グラフ生成

全ての頂点对を結ぶ可視枝の中で、ラバーバンド径路の候補として適当である枝のみからなる探索グラフを生成する。ラバーバンド径路の候補として適当でないものとしては、例えば凹点からでる枝がある。

・最短径路探索

探索グラフ上の最短径路探索を行う。探索はDijkstra法によるものである。枝長をグラフの枝のコストとすれば、最短径路の発見が保証される。探索後障害物間の容量と配線フローを比較することによって容量違反の判定ができる。

・探索グラフの更新

探索グラフの更新は、まず確定された径路に交差する可視枝、およびその径路により容量とフローが一致した障害物間を通過する可視枝を除去する。次に、確定された径路の節点を二重化し、接続されている可視枝の一部を二重化された節点に移しかえる。これにより以降の探索で径路の平面性が保たれる。

・幾何学的変換処理

ここでは最終配線として水平垂直パターンからなる配線を求めるものとする。また、探索された径路は容量制約を満たすので、最終径路への変換は常に保証されている。幾何学的変換処理は2つの段階からなり、まず第一段階は、障害物や端子に接している配線(以降接触配線と呼ぶ)を分離するために、 $45^\circ/135^\circ$ のスポーク(図5の矢印)を発生させる。これらの接触配線のうち障害物からみて最も外側の配線から順にスポークに引っかけ

るように変形していく。このような操作を繰り返すことにより得られる径路を拡張ラバーバンド径路と呼ぶ。次に第二段階では、領域を掃引することにより斜め線含む拡張ラバーバンド径路を水平垂直方向の配線パターンに変換する。

5. 計算機実験による手法の評価

ラバーバンドモデルに基づく逐次配線手法をSUN SPARC station 2上にC言語を用いて実装し、乱数によって生成した平面配線問題に適用した。

まず、いくつかの例に対し領域中に発生させた可視グラフの枝数と、ラバーバンド径路の探索に不要な枝を削除した後に得られる探索グラフの枝数との比較を行った。その結果、探索グラフの枝数は可視グラフの40%~60%程度であることがわかった。探索グラフの枝数は直接処理の効率に反映されるので望ましい性質が得られたといえる。

次に、4節で示したアルゴリズムにより得られた、探索グラフ、ラバーバンド径路、拡張ラバーバンド径路、最終配線を図6から図9に示す。

図6では、凹点から出る枝やラバーバンドの候補として適当でない枝が除去されていることがわかる。図7はラバーバンド表現であり、径路の重なりや頂点の共有を許している。次に図8のようにスポークを発生させて配線同士の分離制約を満足させることにより拡張ラバーバンド径路が得られる。図8において○で囲んだ部分にshove asidingの効果が現れていることがわかるであろう。図9は平面掃引により、拡張ラバーバンド径路を水平垂直の配線パターンに変換した結果である。

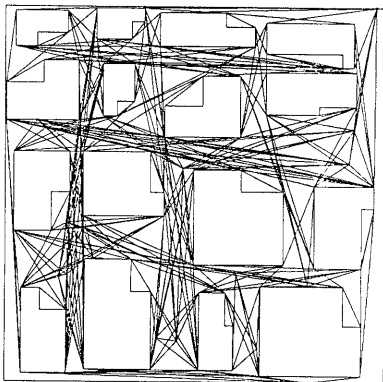


図6 探索グラフ

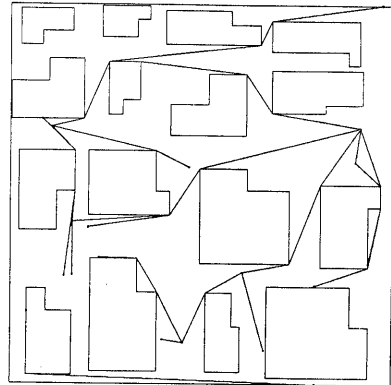


図7 ラバーバンド径路

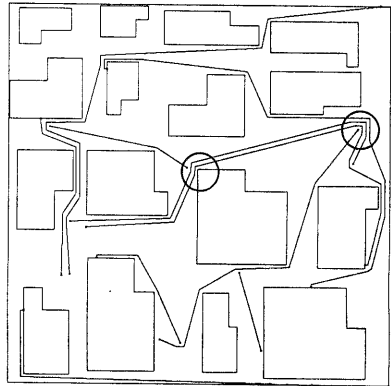


図8 拡張ラバーバンド径路

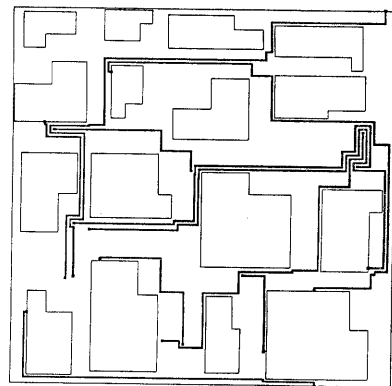


図9 最終配線結果

6 むすび

本稿では、ラバーバンド表現を利用することにより shove asiding を自然に実現できる逐次配線手法の実装について報告した。計算機実験により手法の有効性を確認した。ラバーバンド表現に基づく配線手法は、その柔軟性により多種多様の設計規則に追従できる。さらに、ラバーバンド配線は基本的にトポロジカル配線であり、トポロジー的に径路が存在すれば必ず探索することができる。そこで容量制約を無視して径路探索を行った結果をもとに障害物間の配線フローを評価して障害物の再配置を行うといった用途も考えられる。このように、ラバーバンド表現は配線のみでなくレイアウト設計全般においても有効なデータ表現であるといえる。

謝辞

本研究は財団法人電気通信普及財団の助成のもとに行われたものである。

文献

- [1]C.E.Leiserson and F.M.Maley: " Algorithms for Routing and Testing Routability of Planar VLSI Layouts," *Proc. STOC*, pp.69-78 (1985).
- [2]W.W.Dai et al.: " Topological Routing in SURF:Generating a Rubber-Band Sketch," *Proc. 28th DA Conf.*, pp.39-44 (1991).
- [3]粟島, 佐藤, 大附: "ラバーバンド表現に基づいた逐次配線手法," 信学春季全大, A-103 (1991).
- [4]F.Rubin: " An iterative technique for printed wire routing," *Proc. 11th Design Automation Workshop*, pp.308-313 (1974).
- [5]K.Kawamura et al.: " Touch and Cross Router," *Proc. ICCAD*, pp.56-59 (1990).
- [6]J.Ousterhout et al.: " Magic:a VLSI layout system," *Proc. 21st DA Conf.*, pp.152-159 (1984).
- [7]Scott,W.and J.Ousterhout: " Plowing:interactive stretching and compaction in Magic," *Proc. 21st DA Conf.*, pp.166-172 (1984).
- [8]大平, 加藤, 森: "PLANETシステムにおけるグリッドレスルータ," プリント回路学会 電磁特性を考慮したプリント基板設計研究部会予稿集, Vol.3,No.3, pp.11-18 (1990).