

## 多層チャネルルータ

7K-1

袖 美樹子

吉村 猛

日本電気(株) C&amp;Cシステム研究所

## 1 はじめに

近年、回路規模の増大に伴いレイアウト期間が長期化する傾向にある。また、製造技術の進歩に伴い、4層配線が現実のものとなり、今後より多くの層が配線層として使用できるようになると考えられる。そこで高速で性能の良い多層配線システムが望まれている。

本稿では1コラムに複数の端子が存在する多層チャネル配線モデルに対する配線アルゴリズムを提案し、計算機実験結果について述べる。特に、このモデルに対する3次元垂直制約グラフを定義し、多層割り当てネット選択アルゴリズムについて述べる。

計算機実験の結果、primary1,2に対して20.5、95.74秒(EWS4800/220)で86、212トラック(4層)の結果を得ることができていることを確認した。

## 2 従来手法

多層チャネル配線問題に対しては、端子層が自由でかつ1コラムに1つの端子である多層チャネル配線モデルに対しEnbody[4]らが、端子層固定で、1つのコラム上に1つの端子である多層チャネル配線モデルに対しSangiovanni-Vincentelli[1]らが、多層チャネル配線アルゴリズムを提案している。これらの多層チャネル配線モデルは、1コラム1端子であるため、配線領域を有効に利用することができず、集積性の面に問題がある。

また、Enbody[3]らは、3次元チップモデルに対し、1コラムに複数の端子が存在する多層チャネル配線モデルを提案し、これに対する多層配線アルゴリズムを提案している。3次元チップモデルとは、端子及び拡散層が同じ位置に重なって存在する新しいプロセスモデルで、これまでのモデルとは大きく異なる。この3次元チップモデルに対する多層チャネル配線モデルとして、Enbodyらは、1コラムに複数の端子が存在する多層チャネル配線モデルを提案し、このモデルに対する多層配線アルゴリズムを提案している。Enbodyらが示したように1コラムに複数の端子が存在する多層チャネル配線モデルは、1コラムに1つの端子である多層チャネル配線モデルに比べ難しい問題を多く含んでいる。特にネットの層割り当ては、非常に難しい問題である。

この多層チャネル配線モデルに対してEnbodyらが提案した多層配線アルゴリズムは、ネットに垂直制約と混雑度によりコスト付けを行ない、このコストによりネットをトラックに割り当てする方法である。この方法は、ネットの自由度を十分に引き出した方法ではないため最適なネットの層割り当てがおこなわれるとは限らない。また、同じコラム上にあるネットは、たとえ端子層が異なっても垂直制約が生じるとしている。このため、ネットの垂直制約を十分に評価できず、最適なネットのトラック割り当てがおこなわれるとは限らないという問題がある。

## 3 多層チャネル配線問題

一般に配線は、概略配線、詳細配線の順で行なわれる。概略配線では、ネットを割り当てるチャネル、セル上通過位置

(フィードスルー)を決定し、詳細配線、例えばチャネル配線では各ネットのトラック位置を決定する。配線問題においては、配線領域を小さくするには、概略配線、詳細配線をトータルに考え、全体として良い結果を得ることが重要である。即ち高速に良い配線結果を得るためには、概略配線、詳細配線の両方を考えた有効な多層チャネル配線モデルを定義する必要がある。

そこで以下の多層チャネル配線モデルを定義する。

**多層チャネル配線モデル** 上下に端子の列を持つチャネル領域を考える。ただし各端子には端子層とネット番号が与えられているものとする。ここで、同じコラム上に複数の端子が異なる層で存在しても良いこととする。また、貫通ビアは許さないが、スタックビアは許すこととする。ここで貫通ビアとは、2層以上離れた配線を結ぶビアをいう。またスタックビアとは、あるビアの上に異なるビアを1層以上の間隔をおいて重ねて置くことをいう。また、ネットを2端子ネットに分解した時、その端子の各層は2層以上離れていないこととする。

多層チャネル配線問題とは、上記の多層チャネル配線モデルにおいて同じネット番号を持つネットをチャネル幅が最小になるように結線することである。

## 4 準備

以下ネットは2端子ネットを仮定する。(なお多端子ネットの場合は2端子ネットに分解して処理を行なう。)以下では、3次元垂直制約グラフ、ゾーン、割り当てネット選択グラフを定義する。

## 4.1 3次元垂直制約グラフ

3次元垂直制約とは、ネットの垂直セグメントにより生じた、ネットの水平セグメントの上下関係の制約を表すものと定義する。垂直制約は、同じコラム上に上下に同じ層で端子が存在する場合生じる。これは上側の端子に接続しているネットの水平セグメントは、下側の端子に接続しているネットの水平セグメントの上側に置かれなければならないことを表している。

この関係を3次元垂直制約グラフ  $G = (V, E_1 \cup E_2 \dots E_k)$  (層数  $k$ ) で定義することとする。各頂点  $v \in V$  はネットの水平セグメントを表し、頂点  $a$  から頂点  $b$  への有向枝  $e \in E_i$  は、ネット  $a$  とネット  $b$  が層  $i$  で垂直制約が生じることを表し、ネット  $a$  の水平セグメントがネット  $b$  の水平セグメントの上の置かれなければならないことを表す。この3次元垂直制約グラフにより、水平成分の層が異なるネット間の垂直制約を表現することができる。

## 4.2 ゾーン表現

ネットの水平セグメントはその左端と右端の端子位置により決定される。 $S_i(c)$  を層  $i$  におけるコラム  $c$  を横切るネットの集合とする。相異なるネットの水平セグメントは同一層同一トラックで重ねることとはできない。しかし水平成分の重なりを見る限りにおいては、全てのコラムを考える必要がない。即ち、 $S_i(c)$  が極大集合となるコラム  $c$  のみを考えればよい。そこで、 $S_i(c)$  が極大集合となるコラムに対し、1から順番に番号を割り当て、これらを層  $i$  に対するゾーン1, ゾーン2, ... と定義する。もし、ネットが複数の層に割り当て可能である場合、そのネットは複数の層に登録し、ゾーンを求めることとする。

Multi-layer Channel Router

Mikiko Sode Takeshi Yoshimura  
NEC Corporation

### 4.3 割当ネット選択グラフ

現在割り当て可能なネットの集合に対して割り当てネット選択グラフを作成する。層  $i$  に対する割り当てネット選択グラフは、 $G_i = (V_i, E_i^{(1)} \cup E_i^{(2)})$  と定義することとする。ここで  $V_i$  は層  $i$  におけるゾーンの集合 (ゾーン数  $m_i$ ) を表し、 $E_i^{(1)}$  はゾーン  $k_i$  からゾーン  $k_i + 1$  への有向枝の集合を表し、 $E_i^{(2)} \subseteq \{e_{ij} = (v_{k_i}, v_{l_i}) \mid v_{k_i}, v_{l_i} \in V\}$  は、ネット  $j$  の始点ゾーン  $k_i$  から終点ゾーン  $O_j + 1 (= l_i)$  への有向枝の集合を表すこととする。また、各枝にはコスト  $g(e_{ij})$ 、各頂点にはコスト  $f(v_{k_i})$  が割当られていることとする。

### 5 多層チャネル配線アルゴリズム

以下に多層チャネル配線アルゴリズムの全体フローを示す。まず、3次元垂直制約グラフを作成する。次に、現在割り当て可能なネットの集合に対し、割り当てネット選択グラフを作成する。次に割り当てネット選択グラフを用いて、多層割り当てネット選択アルゴリズムによりトラックの各層に割り当ててるネットの集合を求め、割当を行う。次に、3次元垂直制約グラフを更新し再度現在割り当て可能なネットの集合を求め、多層割り当てネット選択アルゴリズムにより割り当てを行なう。この処理を全てのネットが割り当てられるまで繰り返す。

#### 全体フロー

- 3次元垂直制約グラフを作成する。
- track=0
- while(割当られていないネットが存在する。){
  - track=track+1
  - 割当可能なネットの集合を3次元垂直制約グラフから取り出す。
  - 割当ネット選択グラフを作成し、多層割り当てネット選択アルゴリズムにより割当を行う。
  - 3次元垂直制約グラフを更新する。
- }

### 6 多層割り当てネット選択アルゴリズム

多層チャネル配線問題では、従来のチャネル配線問題と異なりネットの水平セグメントを複数の層に割り当て可能である。そのためネットをどの層に割り当てるかを、ネットをどのトラックに割り当てるかに加え決定しなければならない。この時ネットをどの層に割り当てるかにより、トラックに割り当ててるネットの集合が異なり、解に大きな影響を与える。そのためネットの自由度を十分に引きだし、最適な割り当てを行なうことが、多層配線問題において重要な問題となる。

ある1層を考えた場合、コスト最大のネット集合を求める問題に関しては最適解が求まることが知られている [5]。そこで多層チャネル配線問題に対して各層で最適なネット割り当てを求め、この中でコストの最も高い層のネット割り当てを行ない、次に割り当てられたネットを削除し、同じ方法でまだ割り当てが行なわれていない層へのネット割り当てを行なう。

### 7 計算機実験結果

EWS4800/220 上で C 言語でプログラムし、ベンチマークデータ primary1,2 に対して 20.5、95.74 秒 (EWS4800/220) で 86、212 トラック (4層) の結果を得ることができることを確認した。表1、図1に primary2 の実験結果を示す。4層配線は2層配線の約半分で配線することができ、かつ3層配線よりも少ないトラック数で配線できた。

### 8 まとめ

1 コラムに複数の端子が存在する多層チャネル配線モデルに対する多層チャネル配線アルゴリズムを提案した。計算機実験の結果、短時間で有効な解が得られることを確認した。

表 1: 計算機実験結果 (primary2)

Channel No	2層	3層	4層	Channel No	2層	3層	4層
1	6	3	3	16	14	8	7
2	11	6	6	17	14	8	8
3	12	6	5	18	17	11	8
4	12	7	7	19	17	10	7
5	12	7	6	20	18	9	8
6	14	8	7	21	15	9	8
7	15	9	8	22	15	8	7
8	15	8	8	23	16	9	7
9	17	9	8	24	13	7	10
10	19	11	10	25	14	10	7
11	16	8	8	26	13	7	6
12	16	9	7	27	11	6	7
13	17	9	8	28	10	6	7
14	17	9	7	29	9	5	5
15	14	9	7	30	9	5	5
total					418	236	212

(概略配線には、[6]を使用。)

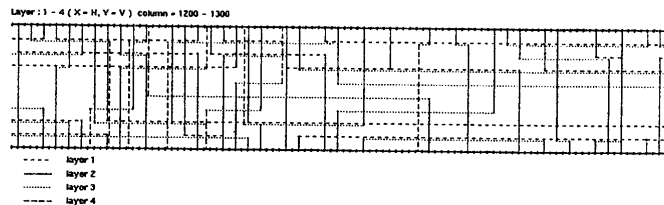


図 1: 配線結果 (primary2, チャネル 11 コラム 1200-1300)

### 参考文献

- [1] Douglas Braun, Sangiovanni-Vincentelli, et al., "Chameleon: A New Multi-Layer Channel Router", *Proc. 23rd DA Conf.*, 1986, pp.495-pp.502.
- [2] Mikiko Sode, "A Multi-Layer Routing Algorithm.", *JTC-CSSC'91.*, 1991, pp.465-470.
- [3] Richard J. Enbody, Gary Lynn, and Kwee Heong Tau, "Routing the 3-D Chip", *Proc. 28th DA Conf.*, 1991, pp.132-pp.137.
- [4] R.J.Enbody and H.C.Du, "Near-Optimal n-Layer Channel Routing", *Proc. 23rd DA Conf.*, 1986, pp.708-pp.714.
- [5] Takeshi Yoshimura, "An Efficient Channel Router", *Proc. 21st DA Conf.*, 1984, pp.38-pp.44.
- [6] 岡本 匠, "4層スタンダードセル方式 LSI のための概略配線手法", *DA シンポジウム '91 論文集.*, 1991, pp.69-pp.72.