

3層チャネル配線における 平面配線可能な最大ネット集合の選択手法

2K-7

吉川朝紀, 中森眞理雄, 岩沢京子, 萩原洋一

東京農工大学大学院工学研究科電子情報工学専攻

1. はじめに

VLSI における集積度の増加や製造技術の進歩によって3層配線, 4層配線といった多層配線が広く利用されている. これらの多層配線は2層配線と比べて少ない領域で配線が可能な反面, ビアの衝突によって製造が困難なことがある.

そこで, 本研究ではビアの衝突を回避するために, 第3層は垂直・水平方向の平面配線とし, 第1,2層はそれぞれ水平, 垂直方向の配線をするスタンダードセルモデルの3層チャネル配線において, 平面配線可能なネット集合の選択アルゴリズムを述べる.

2. トラック数

第1,3層のトラック数をそれぞれ T_1, T_3 とすると全体でのトラック数 T は $\max(T_1, T_3)$ となるので, T を最小にする平面配線可能なネット集合を求めることを目標とする.

第3層のトラック数 T は $\lceil D_{\max} / 2 \rceil$ とする. ただし, D_{\max} とは, 配線要求の端子列における配線密度(local density)のうちの最大値である.

3. 選択手法

第3層で平面配線可能なネット集合を, 0-1 整数計画問題とヒューリスティックの2つのアプローチによりそれぞれ求める.

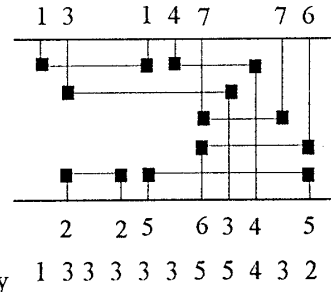


図1 配線要求例

3.1. 0-1 整数計画問題による選択手法

変数 x_j ($j=1, \dots$, ネット数) はネット j を第3層で平面配線するとき 1, さもないと 0 をとる 0-1 変数である.

3.1.1. 目的関数

変数 x_j の係数は, ネット j が通過する端子の配線密度の和とし, それらの和を目的関数とする.

図1の配線要求の目的関数は

$$Z = 13x_1 + 9x_2 + 25x_3 + 17x_4 + 25x_5 + 19x_6 + 17x_7 \rightarrow \text{最大} \quad (1)$$

3.1.2. 制約条件

図2のように, ネット1,2を同時には第3層で平面配線することができない(片方だけが第3層で平面配線可能な)とき, 式(2)のように表す.

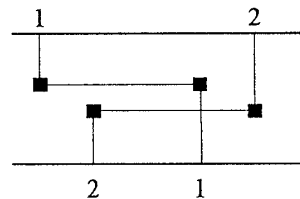


図2 平面配線不可能な例

$$x_1 + x_2 \leq 1 \quad (2)$$

これと同様にすべてのネットの組み合わせについて考慮し, 各 0-1 変数ごとにまとめる. 図1の

Maximum planar net set in three-layer channel routing
Tomoki Yoshikawa, Mario Nakamori, Kyoko Iwasawa, Yoichi Hagiwara
Tokyo A&T University
2-24-16 Nakamachi Koganei Tokyo, Japan

平面配線に関する制約条件は

$$\begin{aligned}
 x_1 + x_3 &\leq 1 \\
 x_1 + 3x_3 + x_5 + x_6 &\leq 3 \\
 2x_4 + x_5 + x_6 &\leq 2 \quad (3) \\
 x_3 + x_4 + 3x_5 + x_6 &\leq 3 \\
 x_3 + x_4 + x_5 + 3x_6 &\leq 3
 \end{aligned}$$

さらに、第3層のトラック数を T 以下に抑えるための制約式は次の2つを考える。平面配線が可能か否かを考慮する垂直制約グラフにおいて、節点(ネット) i までの最長距離が T よりも大きくなる最長経路 $L_{i>T}$ と、各ゾーン Z_i に属するネットの個数が T よりも大きくなるネット集合。これらはそれぞれ式(4),(5)で表す。図1の配線要求に関するトラック数の制約式は式(6),(7)になる。

$$\sum_{j \in L_{i>T}} x_j \leq T \quad (i = 1, \dots, \text{ネット数}) \quad (4)$$

$$\sum_{j \in Z_i} x_j \leq T \quad (i = 1, \dots, \text{ゾーン数}) \quad (5)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_5 \leq 3 \quad (6)$$

$$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \leq 3$$

$$x_2 + x_3 + x_4 + x_7 \leq 3 \quad (7)$$

3.2. ヒューリスティックによる選択手法

与えられた入力ネットに優先順位をつける。そのネットが最大配線密度をもつ端子列を通過する回数が多いネットから順に平面配線可能かどうか判定する。これにより、配線が最も混雑した領域の密度を緩和できる。通過回数が同じときは、そのネットが通過する端子の配線密度の和が大きいネットを優先することで、第1,2層の配線密度も緩和できる。平面配線とトラック数に関する制約は0-1ILPと同様に考える。図1の配線要求に関する優先順序は表1のとおりになる。

4. 測定結果

0-1 整数計画問題とヒューリスティックによるアプローチをC言語で富士通S-4/EC上に実現した。その測定結果を表2に示す。使用データは筆者が作成したものである。表中の net は2端子ネ

ットに換算した入力ネットの個数を、 t_1, t_3 はそれぞれ第1,3層のトラック数を表す。

表1 ネットの優先順位

ネット	通過回数	密度の和	優先順位
1	0	13	6
2	0	9	7
3	2	25	1
4	2	17	4
5	2	25	2
6	2	19	3
7	2	17	5

表2 測定結果

data		0-1ILP			heuristic		
net	D_{\max}	t_3	t_1	time(s)	t_3	t_1	time(s)
30	11	6	7	17.4	5	7	0.0
49	15	8	9	122.0	8	9	0.1
53	10	5	7	8044.4	5	7	0.1

2層配線手法の下界 D_{\max} と比較すると、本手法により得られるトラック数は30~40%ほど削減でき、3層配線手法の下界 $\lceil D_{\max} / 2 \rceil$ と比べると17~40%ほど増加する。しかし、ビアの数は平面配線するネット数だけ少なくなり、ビアの衝突も生じないため、本手法が有効なこともあり得る。

5. おわりに

第3層で平面配線可能なネット集合を求めるアルゴリズムを設計した。3層配線手法の下界値にさらに近づけるように改良することが今後の課題である。

6. 参考文献

- [1] Naveed Sherwani, Siddharth Bhingarde, Anand Panyam, Routing in the Third Dimension From VLSI Chips to MCMs, IEEE PRESS, 1994