

LSI レイアウト設計における移動可能な端子を考慮したピン割当て手法

5 P-6

岸本 善久 小出 哲士 若林 真一 吉田 典可†

広島大学工学部 † 広島市立大学情報科学部

1 まえがき

一般に LSI のレイアウト設計は配置設計、配線設計に大きく分けられる。スタンダードセルにおける配線はチャンネル境界上に位置する各セルのピン間をチャンネルを用いて接続することにより実現される。LSI のレイアウト設計においてはチップ面積の最小化が目的であり、そのためにはチャンネル内の配線トラック数をできるだけ小さくする必要がある。配線トラック数を最小にするためにはチャンネル密度が最小になるようなピンの位置決めを行わなければならない。一方、回路の論理を変えない範囲内でのネットのピンへの割当ては可能なので、これまでにチャンネル密度が最小になるようなネットのピンへの割当てを求める手法 [1, 2] や、各セルをシフトしてチャンネル密度を最小にする手法 [3, 4] などが提案されている。本稿ではピン位置の交換とフリッピングを同時に考慮した新しいモデルを提案し、提案手法により最適なピン割当てが可能であることを示す。

2 準備

2.1 モデル

本稿で取り扱うレイアウトモデルとしてはスタンダードセルを仮定し、各セルは列状に配置されているものとする。また配線層数はチャンネル2層とする。各セル間の配線を行うためにセル内部からチャンネル境界上に引き出された配線とチャンネル境界の交点をピンと呼ぶ。また各ネットは接続するピンの集合で与えられる。

定義 2.1 同一セルに接続するネットにおいて、ネットのピンへの割当てを変更しても回路の論理が変わらないピン（交換可能なピンと呼ぶ）に接続するネットに対し、以下に示す permutation を定義する。permutation は階層構造を許すものとし、要素 t_i は交換可能なピンの部分集合でもよいものとする。最も内側の階層をレベル 0 とし、順に 1, 2, ..., と階層のレベルを定める。permutation で指定されたピンに対してはネットの割当ては任意に変更できる。

$[t_1, t_2, \dots, t_n]$: t_1, t_2, \dots, t_n は permutation 可能なピン。

定義 2.2 flipping はピンの順序とネットの順序の両方を逆順にする。flipping 可能なピンのシーケンスとネットのシーケンスは () で囲む。一般に、flipping はセルの全てのピンとネットに対してのみ定義される。

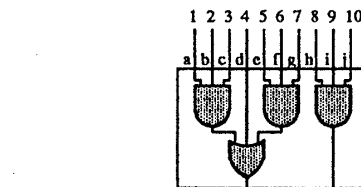


図 1 セルの例

トのシーケンスは () で囲む。一般に、flipping はセルの全てのピンとネットに対してのみ定義される。

(t_1, t_2, \dots, t_n) : t_1, t_2, \dots, t_n は flipping 可能なピンのシーケンス。

(n_1, n_2, \dots, n_n) : n_1, n_2, \dots, n_n は flipping 可能なネットのシーケンス。

定義 2.3 各ピン t_n に対し、セル列 R のピンの位置を与える関数 P を以下に定義する。

$$P(t_n) = \langle \text{コラムの位置} \rangle$$

定義 2.4 コラム i での密度 D_i はコラム i を横切るネット数である。またチャンネル密度は全てのコラムの密度の最大値である。すなわちチャンネル長を L とすると $D = \max_{1 \leq i \leq L} D_i$ 。

例 2.1 ピン割当て問題において図 1 のセルは以下のように与えられる。ただし、 a, b, \dots, j はピン番号、1, 2, ..., 10 はネット番号を表す。

ピンのシーケンス (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j)
 ネットのシーケンス (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
 交換可能なピン [[a, b, c], [e, f, g]], [h, i, j]

2.2 問題の定式化

本稿で取り扱う問題を以下に定式化する。また問題の例を図 2 に示す。

【入力】 セルライブラリ $C = \{c_1, c_2, \dots, c_c\}$, セル列 $R-1$ のセルのシーケンス, セル列 R のセルのシーケンス, セル列 $R+1$ のセルのシーケンス, セルライブラリへのマッピング関数 $F(C_{r,i}) = c_j$, セル列 R の各セルの permutation と flipping

【出力】 目的関数の値を最小にするピン位置 P

【目的関数】 セル列 $R-1$ と R の間のチャンネル密度

【制約条件】 セル列 R と $R+1$ との間のチャンネル密度が増加しない

An algorithm for pin assignment with movable terminals in VLSI layout design, Yoshihisa KISHIMOTO, Tetsushi KOIDE, Shin'ichi WAKABAYASHI, Noriyoshi YOSHIDA †, Faculty of Engineering, Hiroshima University, † Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University.

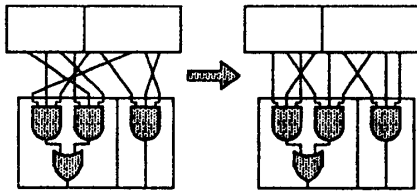


図 2 問題の例

3 アルゴリズム

提案アルゴリズムを以下に示す。提案アルゴリズムではセル列 $R-1$ とセル列 R の間のチャンネルのチャンネル密度の最小化を目的とする。セル列 $R-1$ のピンを固定した場合のアルゴリズムについて述べる。アルゴリズムでは各セルごとに最適なピン割当てを求めていき、最終的にセル列全体のピン割当てを求める。グローバル変数 $TermSeq[m]$, $NetSeq[m]$ には初期状態のピンのシーケンス、ネットのシーケンスが格納されており、各セルごとの最適化が行なわれる度に書き換えられる。 min は各セル C_i についての最適化を行う時に部分チャンネル SC_i の最小のチャンネル密度が格納される。また $best_term$, $best_net$ はその時のピンのシーケンスとネットのシーケンスが格納される。

グローバル変数

```

min          /* 最小チャンネル密度          */
best_term   /* 最適なピンのシーケンス */
best_net    /* 最適なネットのシーケンス */
TermSeq[m] /* ピンのシーケンス          */
NetSeq[m]  /* ネットのシーケンス          */
Perm[m]    /* 交換可能なピン          */

```

アルゴリズム (セルごと)

```

CTA( term, net, perm, kai )
  if ( kai < 0 )
    density = Density( term, net );
    if ( min > density )
      min = density;
      best_term = term;
      best_net = net;
  else
    density1 = Density( R-1, R );
    while( 階層 kai の全ての組合せ )
      CTA( term, net, perm, kai-- );
    Flipping( term, net );
    density2 = Density( R, R+1 );
    if ( density2 <= density 1 )
      while( 階層 kai の全ての組合せ )
        CTA( term, net, perm, kai-- );

```

アルゴリズム (列ごと)

```

RTA( R )
  kai = 階層数;

```

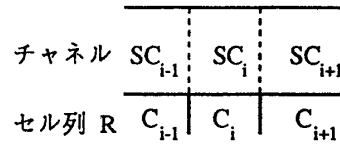


図 3 セルとセル領域

```

for ( i = 0; i < m; i++ )
  term = TermSeq[i];
  net = NetSeq[i];
  perm = Perm[i];
  min = ∞;

```

```

CTA( term, net, perm, kai );
TermSeq[i] = best_term;
NetSeq[i] = best_net;
if ( min > max )
  max = min;

```

4 アルゴリズムの最適性

定理 4.1 アルゴリズム RTA はセル列 R のセル数を m とすると計算量 $O(m)$ で最適解を求める。ただし、各セルのピン数の最大値はある定数以下とする。

証明。セル列 $R-1$ のピンは固定であるので図 3 に示すようにセル列 R のセル C_i が面する部分チャンネル SC_i についてのみ考える。セル C_i のピンは部分チャンネル SC_i の外へ出ることは無いので部分チャンネル SC_i から部分チャンネル SC_{i-1} , SC_{i+1} へ出るネット数は変化しない。よって、セル C_i におけるピンの順序の入れ替えは他の部分チャンネルのチャンネル密度に影響を与えない。従って各セルごとに部分チャンネルのチャンネル密度が最小になるようにピンの位置を決定すればセル列 $R-1$ と R の間のチャンネル密度は最適でありその時の値は $\max\{Density(C_i)\}$ である。また各セルのピン数を定数 k_i であるとする各セルの最適なピン位置は $O(1)$ で得られ、セル列全体では $O(m)$ となる。 □

5 あとがき

本稿では $O(m)$ 時間で最適なピン割当てを行なうアルゴリズムを提案した。今後の課題としてはセル内部のピンからセル上配線を用いたピン割当て手法の開発などがある。

文献

- [1] Y. Cai and D. F. Wong: "Minimizing channel density by shifting blocks and terminals," Proc. of International Conference on Computer-Aided Design, pp. 524-527 (1991).
- [2] Y. Cai and D. F. Wong: "Optimal channel pin assignment," IEEE Transactions on Computer-Aided Design, Vol. 10, No. 11, pp. 1413-1424 (1991).
- [3] J. Cong and K.-Y. Khoo: "A provable near-optimal algorithm for the channel pin assignment problem," Proc. of International Conference on Computer Design, pp. 319-322 (1991).
- [4] C. Y. Hou and C. Y. R. Chen: "A hierarchical methodology to improve channel routing by pin permutation," Proc. of International Conference on Computer-Aided Design, pp. 440-443 (1991).