

## スタンダードセルレイアウト設計におけるフィードスルー割り当ての一手法†

2H-4

小出 哲士

鈴木 武志

若林 真一

吉田 典可

広島大学 工学部

## 1 まえがき

VLSI スタンダードセル方式レイアウト設計における従来のフィードスルー割り当てでは、概略配線経路の決定とフィードスルー割り当てを同時に行なう手法がいくつか提案されている [1][3]. しかし、その多くは配線長の最小化のみに注目しており、チャンネル密度の最小化についてはあまり考慮されていない。そこで本稿では、チャンネル密度の総和の最小化を目的としたフィードスルー割り当て手法を提案する。

## 2 準備

本稿で取り扱うスタンダードセルモデルでは、セルはすべて同じ高さとし、各端子はセルの上下辺の同じ  $x$  座標位置に等電位端子を持つものとする。また、すべてのセルは列上に配置されている。以下にフィードスルー割り当て問題 FAP を示す。

【フィードスルー割り当て問題 FAP】スタンダードセルの配置、及びネットリスト  $N$  が与えられた時、チャンネル密度の総和、及び仮想配線長の総和を最小とするようなフィードスルー割り当てを求めよ。ただし与えられたセルのセル列内での順番を崩さないものとする。□

## 3 フィードスルー割り当てアルゴリズム

提案するフィードスルー割り当てアルゴリズム (FAA: Feedthrough Assignment Algorithm) は大きく分けて以下の3つのフェーズから構成される

フェーズ1 (フィードスルーの仮挿入): 各ネットの端子を接続する最小コスト生成木を構成し、フィードスルーを挿入するセル列とその位置を決定する。

フェーズ2 (フィードスルーの割り当て): フェーズ1で挿入したフィードスルーの各セル列内での位置をチャンネル密度が最小になるように反復改良する。

フェーズ3 (フィードスルーの再割り当て): 各セル列ごとにチャンネル密度が最小のもとで総配線長が最小となるようにフィードスルーの再割り当てを行う。

以降ではアルゴリズムの各フェーズについて述べる。

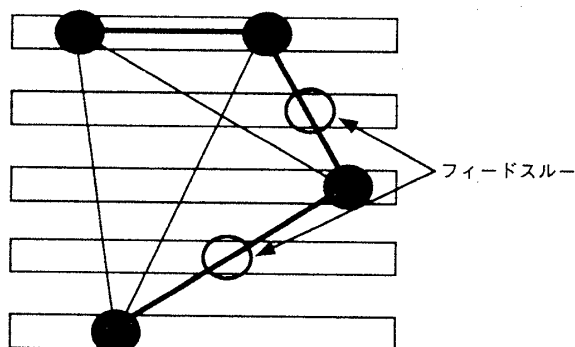


図1 フィードスルーの仮挿入

## 3.1 フェーズ1(フィードスルーの仮挿入)

隣接するセル列に同一ネットの端子が存在しない場合にはフィードスルーセルを挿入する必要がある。そこで、フェーズ1ではネットの端子を接続するのに必要なフィードスルーの仮挿入を行なう。このとき、フィードスルーをネットの接続を完了するためにだけ使用するのではなく、チャンネル密度を減少させるためにも使用する。フェーズ1では、文献 [1] で提案されているアルゴリズムと同様に、各ネットの端子を節点とする完全グラフ上で最小コスト生成木を構成し、最小コスト生成木の枝がセル列と交差するセル列にフィードスルーを挿入する (図1)。ここで、各枝  $e$  の重み  $W(e)$  は文献 [1] と同様  $W(e) = |x_i - x_j| + K \times \sum weight(R_i)$  とし、 $x_i, x_j$  は枝  $e$  に結ばれている2つの節点の  $x$  座標、 $weight(R_i)$  は枝  $e$  がセル列  $R_i$  横切る際のペナルティ、 $K$  は定数とする。文献 [1] では、セル列内にあるフィードスルーは考慮されていないが、提案手法ではこれらも考慮している。

## 3.2 フェーズ2(フィードスルーの割り当て)

フェーズ1によって各セル列には、そのセル列を横切るネット数のフィードスルーが挿入されている。しかし、フェーズ1ではチャンネル密度の最小化を陽に考慮していないため、必ずしもチャンネル密度が最小となるような結果が得られるとは限らない。そこで、フェーズ2ではフェーズ1において仮挿入されたフィードスルーのセル列内での詳細な位置を、チャンネル密度の最小化を陽に考慮しながら反復改良により決定する。

まず、初期フィードスルー割り当て  $g$  から出発し、以下の4つの遷移パターンの中からある1つの遷移パターンを選択し、 $g$  の近傍を探索する。フィードスルー割り当て

† "A Feedthrough Assignment Algorithm for Standard Cell Layout" by Tetsushi KOIDE, Takeshi SUZUKI, Shin'ichi WAKABAYASHI, and Noriyoshi YOSHIDA, Faculty of Engineering, Hiroshima University, e-mail:koide@ecs.hiroshima-u.ac.jp

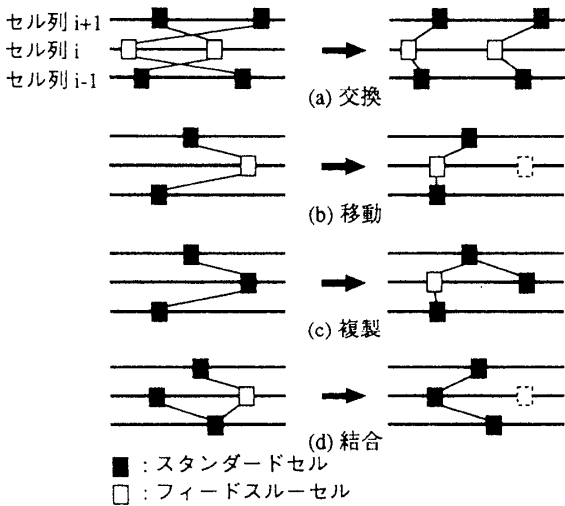


図2 遷移パターン

$g$ のコストを $C(g)$ で表す。もし、コストが $C(g') < C(g)$ となるような近傍 $g'$ が存在する場合にはその遷移を受理し $g'$ に遷移する。この操作を $g$ が改良できなくなるまで繰り返す。コスト関数としては、 $C(g) = \alpha \times \sum_{i=1}^{r+1} D(c_i) + \beta \times \sum_{i=1}^{r+1} \sum_{j=1}^{L_i} d_j(c_i)/L_i$ を用いる。ここで、 $r$ はセル列数、 $L_i$ はチャンネル $i$ のセル列の長さ、 $D(c_i)$ はチャンネル $c_i$ のチャンネル密度、 $d_j(c_i)$ はチャンネル $C_i$ のカラム $j$ における配線密度とし、 $\alpha, \beta$ は定数とする。

遷移パターンは(1)フィードスルーセルの交換(図2(a))、(2)フィードスルーセルの移動(図2(b))、(3)セル及びフィードスルーセルの複製(図2(c))、(4)フィードスルーセルの結合(図2(d))の4つがある。

フィードスルーセルの複製は、フィードスルーが属するセル内で新たにフィードスルーを複製する操作であり(図2(c))、この場合複製元のフィードスルーに接続している枝のうち、混雑している部分を通過する枝を削除し、複製したフィードスルーに新たな枝を加えることで概略配線経路の変更も同時に行なう。これとは逆にフィードスルーセルの結合は、フィードスルーが属するセル列内で複数存在するフィードスルー同士(セルとフィードスルーセル)を結合し(図2(d))、結合するフィードスルーに接続している枝を除去し、結合先のフィードスルー(セル)に新たな枝を加えることで概略配線経路を変更する。

### 3.3 フェーズ3(フィードスルーの再割り当て)

フェーズ3では、チャンネル密度最小のもとで総配線長を最小化するために、隣接するセル列間でフィードスルーの再割り当てを行なうことにより局所的な最適化を行なう。提案手法ではこのフィードスルーの再割り当てを最小コスト整数フロー問題に変換することにより決定する。まず、隣接する3つのセル列 $i-1, i, i+1$ (図3(a))よりグラフ $G(V, E)$ を構成する(図3(b))。ここで

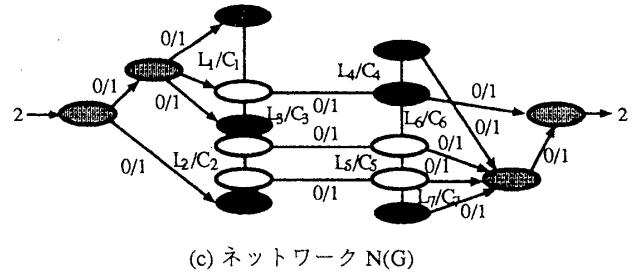
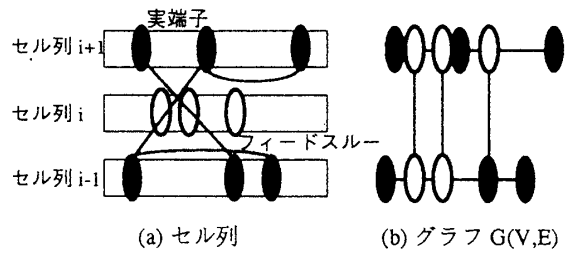


図3 フィードスルーの再割り当て

$V = (X \cup F_1) \cup (Y \cup F_2)$ で $X, Y$ はセル列 $i-1, i+1$ の実端子に対応する節点集合であり、 $F_1, F_2$ はセル列 $i$ のフィードスルーに対応する節点集合である。枝 $E$ は節点集合 $(X \cup F_1)$ のうち $x$ 座標が隣接している節点間、節点集合 $(Y \cup F_2)$ のうち $x$ 座標が隣接している節点間、及びフィードスルーに対応する $(F_1 \cup F_2)$ のうち同じ $x$ 座標を持つ節点間に存在するものとする。このとき、節点 $u \in X$ から $v \in Y$ までのパスはセル列 $i$ のフィードスルー割り当てに対応する。このグラフ $G$ よりネットワーク $N(G)$ を構成し(図3(c))、 $N(G)$ 上で最小コスト整数フローを求めることによりフィードスルーの再割り当てを行なう。ここで $G$ の枝に対応する枝には、“枝の長さ/対応するチャンネルの密度”を重みとして持つ。この操作をチップの周辺のセル列から順に適用し各セル列のフィードスルーの再割り当てを行なう。

## 4 あとがき

今後の課題としては、提案手法を実現し、シミュレーション実験による評価が挙げられる。

## 参考文献

- [1] J. Cong and B. Preas: "A new algorithm for standard cell global routing", Proc. of 1988 International Conference on Computer-Aided Design, pp. 176-179 (1988).
- [2] T. Koide, S. Wakabayashi and N. Yoshida: "A new global routing algorithm for over-the-cell routing in standard cell layout", Proc. of 2nd European Design Automation Conference (1993, to appear).
- [3] G. Meixner and U. Lauther: "A new global router based on a flow model and linear assignment", Proc. of 1990 International Conference on Computer-Aided Design, pp. 44-47 (1990).
- [4] J. Reed, A. Sangiovanni-Vincentelli and M. Santomauro: "A new symbolic channel router: YACR2", IEEE Trans. Comput.-Aided Design Integrated Circuits, CAD-4, 3, pp. 208-219 (1985).