セル上でのビアを許したセル上チャネル配線の一手法†

2H−7 小出 哲士　梲家 正博　江本 宏雄　若林 真一　吉田 典可
広島大学 工学部

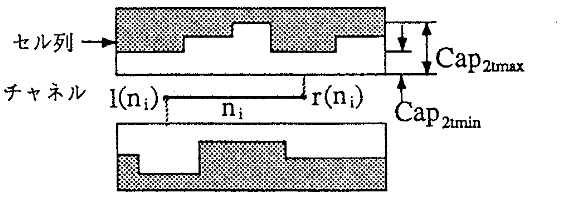
1 まえがき

スタンダードセル方式において，セル上チャネル配線手法はチップ面積を削減する有効な手法であるため，多くの研究がなされている[4]．著者らは文献[3]で，セル上第2層に不均一なセル上配線容量を持つモデルを提案し，セル上のビアを許さない場合には平面配線を行ない，セル上のビアを許した場合にはH-V配線を行なうアルゴリズムを開発している．その結果，平均セル上配線容量が小さい場合には平面配線が，大きい場合にはH-V配線が，よりセル上を有効利用することができ，少ないチャネル密度でセル上配線できることがわかった．そこで本稿では，セル上でのビアを許したモデルに対し，両配線手法を混合させたアルゴリズムを提案する．

2 準備

まず，文献[3]で提案されている配線モデルについて述べる．配線は3層配線を仮定する．セル内配線に第1層全部と第2層の一部分を使用するため，セル上配線領域は第3層全部と第2層のセル内配線に使用されていない領域とする(図1)．チャネルはH-V-Hの3層配線とする．セル上及びチャネル配線領域には配線格子を仮定し，配線は全て，この配線格子上で行なわれるものとする．また，セル上のトラックはチャネル側から順番に番号づけされている．さらに，ネットは全て2端子分解されているものとする．

次に，アルゴリズムの記述に必要な語句，記号を以下のように定義する．上下セル列の端子列をそれぞれ $Top = \{t_1, t_2, \cdots, t_k\}$，$Bot = \{b_1, b_2, \cdots, b_k\}$ で表す．上側のセル列に対して，カラム x における第2層セル上配線容量を $Cap_{2t}(x)$ とし，$Cap_{2t}(x)$ 内で最大のものを Cap_{2tmax}，最小のものを Cap_{2tmin} で表す．また，第3層セル上配線容量を Cap_{3t} とする．下側セル列に対しても，上側のセル列と同様に，それぞれ $Cap_{2b}(x), Cap_{2bmax}, Cap_{2bmin}, Cap_{3b}$ を定義する．ネット集合を $N = \{n_i | i = 1, 2, \cdots\}$ で表し，ネット n_i の左側の端子位置を $l(n_i)$，右側の端子位置を $r(n_i)$ とする．ネット n_i の水平セグメントを $s(n_i) = [l(n_i), r(n_i)]$ で表す．ネット n_i がセル上で割り当てられたトラックを $T(n_i)$ とする．また，カラム x を通過するネット数を局所密度 $d(x)$，チャネル密度 D を $D = max\{\ d(x)\ |\ x = 1, 2, \cdots, k\ \}$ とする．最後に，ネットの包含関係を定義する．2つのネット $n_i, n_j \in N$ に対して，$l(n_i) < l(n_j) < r(n_j) < r(n_i)$，$T(n_i) > T(n_j)$ ならば，n_i は n_j を包含していると呼び，$n_i \succ n_j$ で表す．



□：セル上配線領域（第2層）▨：機能ブロック（障害物）

図1 第2層セル上配線領域

本稿では，セル上チャネル配線問題を，セル上配線問題，チャネル内配線問題の2つに分けて取り扱う．チャネル内配線問題は従来の手法[1]を適用するため，以降ではセル上配線問題について議論する．

【セル上配線問題】

入力：	上下セル列の端子列：Top, Bot
	上下セル列のセル上配線容量：
	$Cap_{2t}(x), Cap_{2b}(x), Cap_{3t}, Cap_{3b}$
出力：	セル上配線パターン．
制約：	セル上配線容量を越えない．
目的関数：	チャネル密度の最小化：$D \rightarrow min$ □

3 セル上配線アルゴリズム

提案手法は大きく分けて4つのステップから構成される．まずステップ1では，セル上第2層に配線するネットを決定する．このとき，セル上第2層の配線容量が $Cap_{3s}(s = t, b)$ に等しいものとし，動的計画法[2](DP)により，平面配線可能なネットの集合を決定する．ステップ2では $Cap_{2s} < Cap_{2smax}(s = t, b)$ である領域を通過するネットをビアを挿入することにより，第3層に乗せかえる．この操作を上下のセル列に対して行なう．ステップ3では，ステップ1でセル上配線ネットとして選択されなかったネットに対して，ネットを第3層に乗せかえたことにより，第2層に配線可能となったネットを選択しH-V配線を行なう．最後にステップ4では，セル上第3層に対してセル上配線容量が $Cap_{2smin} - 1(s = t, b)$ であるものと仮定し，動的計画法(DP)により平面配線可能なネット集合を決定する．以降では，ステップ1，2，3の詳細について述べる．

3.1 ステップ1（セル上容量均一第2層配線）

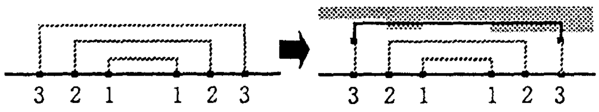
上下のセル上第2層配線容量が均一 ($Cap_{2s}(x) = Cap_{3s}(s = t, b)$) であると仮定し，動的計画法DP[2]を用

†"An Over-the-cell Channel Routing Method Allowing Vias on the Over-the-cell Area" by Tetsushi KOIDE, Masahiro TSUCHIYA, Hiroo EMOTO, Shin'ichi WAKABAYASHI, and Noriyoshi YOSHIDA, Faculty of Engineering, Hiroshima University

いてネットの重みの総和が最大となる平面配線可能なネットの集合$N_{2s}(s=t,b)$を求める．ここで，ネットn_iに対して，$Count=\{\,x \mid d(x)=D\ ,\ l(n_i)\le x\le r(n_i)\}$とし，ネット$n_i$の長さを$len(n_i)=r(n_i)-l(n_i)$とすると，ネット$n_i$の重み$w_1(n_i)$は，$w_1(n_i)=\alpha\times|\,Count\,|+\beta\times\frac{1}{len(n_i)}$，($\alpha,\beta$は定数)．

3.2 ステップ2 (ビア挿入による層乗せ換え)

セル上第2層は配線容量が不均一なため，ステップ1で求めたすべてのネットを平面配線することができない．そこで，トラック$T > Cap_{2smin}(s=t,b)$以上で配線されたネットに対しては，ビアを挿入し，第3層で配線を行なう (図2)．



(a) ステップ1の結果　　(b) ビアの挿入

図 2 平面配線不可能なネットの乗せかえ

3.3 ステップ3 (セル上H-V配線ネット選択)

ステップ3では，ネット集合$N-N_{2t}-N_{2b}$のうち，他のネットに包含されていない中からセル上でH-V配線可能なネットを配線する (図3)．ネット集合$N_{2s}(s=t,b)$の中で他のネットに包含されていないネットを最外ネット$n_{cmax}\in N_{cmax}$と呼ぶ．

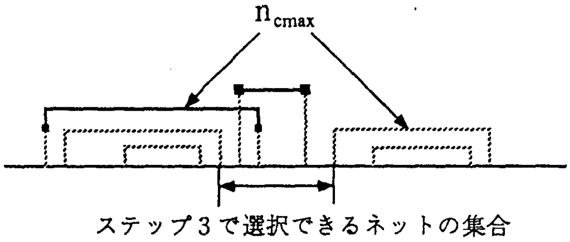


図 3 ステップ3のネット選択範囲

ネットn_iの$MC(n_i)$[3]を，$MC(n_i)=min\ \{Cap_{2s}\ (l(n_i))\ ,Cap_{2s}\ (r(n_i))\ \ (s=t,b)\ \}$と定義する．ここで，$T(n_i)\ge MC(n_i)$ならば，トラック$T(n_i)$においてネット$n_i$がH-V配線が可能なことを表している．さらに，ネットn_iに対し，重み$w_2(n_i)$を定義する．ここでは，チャネル密度Dはネット集合$N-N_{2t}-N_{2b}$のチャネル密度とし，$w_2(n_i)=\gamma\times(|\,Count\,|\cdot MC_t^2(n_i))/(MC_t^2(n_i)+MC_b^2(n_i))+\delta\times\frac{1}{len(n_i)}$，($\gamma$，$\delta$ は定数)．

以降にステップ3の詳細を示す．

【ステップ3: セル上H-V配線ネット選択アルゴリズム】

Step3.1 : 上下セル列ごとに，セル上配線可能なネット集合を求め，もし，$T < Cap_{2min}$なら，$T=Cap_{2min}$とし，そうでなければ，トラック$T=min\{T(n_{cmax})\}$とする．

Step3.2 : トラックTに配線可能 ($MC(n_i)\ \ge\ T$) なネット集合とトラックTをすでに使用しているネット$n_{cmax}\in N_{cmax}$から，水平制約グラフG_t,G_b (図4) を上下のセル列に対して作成する．

Step3.3 : 2つのグラフG_t,G_b上で，n_{cmax}に対応する節点を通過し，$max\{\sum w_2(n_i)\}$であるパスをそれぞれ求め，重みの大きいパス上にあるネットをセル上配線ネットとし，トラックTへ割り当てる．そして，割り当てたネットを除き，チャネル密度とグラフを更新し，前に選択されなかったセル側のセル上配線ネットを選択する．

Step3.4 : もし$T=Cap_{2max}$なら終了．そうでなければ$T=T+1$とし，Step3.2へ．□

4 あとがき

今後の課題として，提案アルゴリズムの計算機上での実現と実験的評価などが挙げられる．

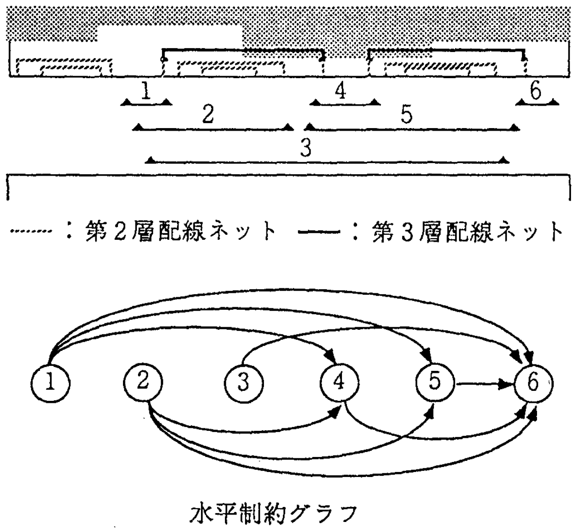


図 4 水平制約グラフ (G_t)

参考文献

[1] P. Bruell and P. Sun: "A greedy three layer channel router", Proc. of ICCAD-85, pp. 298–300 (1985).

[2] J. Cong, B. Preas and C. L. Liu: "General models and algorithms for over-the-cell routing in standard cell design", Proc. of 27th ACM/IEEE Design Automation Conference, pp. 709–715 (1990).

[3] H. Emoto: "Over-the-cell channel routing considering wire capacity", Master thesis, Graduate School of Engr., Hiroshima Univ. (1993).

[4] N. A. Sherwani: "Algorithms for VLSI Physical Design Automation", Kluwer Academic Publishers (1993).