

ブロック間配線における非スライス構造配置の一配線法

早瀬道芳* 三浦地平* 山城 治**

*日立中央研究所 **日立武蔵工場

LSIの大規模化にともなって、ビルディングブロック方式のレイアウト設計が多くなってきた。ビルディングブロック方式でのブロックの配置は、直線によって再帰的に2分できるスライス構造配置と、再帰的には2分できない非スライス構造配置に分かれる。非スライス構造配置に対しては、スライス構造配置に変更する方法、スイッチボックス配線を導入する方法、L形チャンネル配線を導入する方法が提案されている。

本報告では、従来のチャンネル配線法を用いて非スライス構造配置を配線する「単純サイクル巡回配線法」を提案する。本方法は、チャンネルグラフ上4つの頂点から成るサイクルに対応するチャンネルを巡回して、チャンネルの接合部の座標値が一致するまで繰り返し配線する。何回も繰り返し配線しても一致しない時は、3辺固定チャンネル配線を用いる。実験の結果は繰り返し配線のみで十分であった。

An Inter-Block Routing Procedure for Nonslicing-Structure Placements

Michiyoshi Hayase*, Chihei Miura* and Osamu Yamashiro**

* Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

1-280 Higashikoigakubo Kokubunji, Tokyo, 185 Japan

** Musashi Works, Hitachi, Ltd.

The block placement of building-block layout is classified into two types, the slicing-structure and the nonslicing-structure placements. Several routing methods for the nonslicing-structure placement have been proposed such as to perturbate the placement, to generate switch-box channels and to generate L-shaped channels. A routing procedure for nonslicing-structure placement is presented. This procedure iteratively routes the channels in the cycle of the channel graph, until it coincides with co-ordinates of a channel joint. When the iteration is not terminated, the 3-side-fixed channel routing method is applied. An experimental result shows that this iteration is terminated, and 3-side-fixed channel routing method is not needed.

1. はじめに

LSIの微細化技術の進歩に伴うLSIの大規模化によって、ビルディングブロック方式のレイアウト設計が多くなってきた。ビルディングブロック方式のレイアウトは階層的に行ない、まず、ブロックをレイアウト設計する。つぎに、フロアプランによってチップ内のブロック配置を決める。最後に、ブロック間に配線領域を設定し、これを矩形の部分配線領域であるチャンネルに分割して配線する。

ブロックの配置には、スライス構造配置と非スライス構造配置がある。スライス構造配置とは、図1のように、直線によって2分することを再帰的に行うことができる配置である。一方、非スライス構造配置とは、図2のように、直線によって2分することを再帰的に行うことができない配置である。

非スライス構造配置では、チャンネルの配線順序付けにサイクルが生じるので、チャンネル配線法を用いて配線するのが困難であるという問題が指摘された[1]。以来、この問題に対して多くの解決法が提案されてきた。ブロックの配置を移動してスライス構造配置に変更する方法[2]、チャンネルを細分してスイッチボックス配線する方法[3]、L形チャンネル配線[6][7]を導入する方法[5]、等である。しかし、従来法は、チャンネルの領域面積増大の抑制、または、面積固定チャンネルの100%配線のいずれかに関して不十分であると考える。

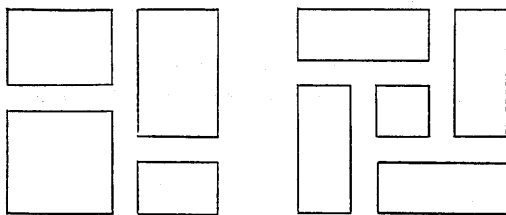


図1. スライス構造配置

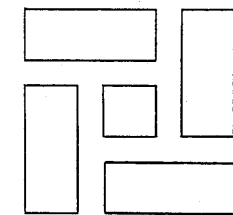


図2. 非スライス構造配置

本報告では、チップ面積最小化と100%配線を目的として、従来のチャンネル配線法を繰返し用いることにより、非スライス構造配置を配線する「単純サイクル巡回配線法」を提案し、その評価結果を述べる。

2. 用語の定義

本報告で述べるブロック間配線は2層配線とし、次の用語を用いる。

(1) チャンネル

チャンネルは矩形の部分配線領域で、対向する2辺に端子があり、残りの2辺の長さは可変で配線結果によって長さが決まる。この長さをチャンネル幅と呼ぶ。

(2) チャンネルグラフ

チャンネルとチャンネルの接合状態によりチャンネルの配線順序が決まる。これを表現するチャンネルグラフを次のように定義する。図3のように、チャンネルを頂点とし、チャンネルC1とチャンネルC2がT形に接合している場合には、チャンネルC1の頂点からチャンネルC2の頂点へ有向枝を設ける。

チャンネルC1の配線結果によって、接合部の幅と接合部の配線端の座標が決まる。このチャンネルの接合部での配線端を仮想的な端子とみなして接合端子と呼ぶ。チャンネルC1の配線後であれば、チャンネルC2は、対向2辺の端子位置がすべて決まって配線できる。従って、チャンネルの配線順序は、チャンネルグラフの有向枝の方向に従って行なう。

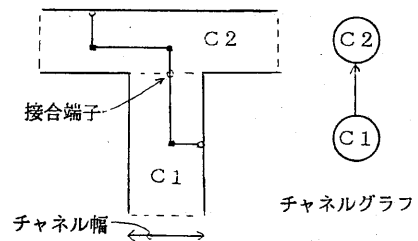


図3. チャンネルのT形接合

非スライス構造配置の場合には、チャンネルグラフにサイクルが存在するので、チャンネルの配線順序が決まらない。この問題に対して、チャンネルグラフ上のサイクルを単純サイクルと複合サイクルの2種類に分類する。単純サイクルとは、4つの頂点からなるサイクルである。これに対して、複合サイクルは、複数のサイクルが互いに頂点を共有しているサイクルである。図4に単純サイクルの例を、図5に複合サイクルの例を示す。

(3) 3辺固定チャンネル配線

対向2辺の端子位置に加えて、もう1辺の接合端子の座標とチャンネル幅を予め固定して配線することを、3辺固定チャンネル配線と呼ぶ。これと区別するために、従来の、対向2辺の端子位置のみ固定し、チャンネル幅を可変として配線することを2辺固定チャンネル配線と呼ぶ。

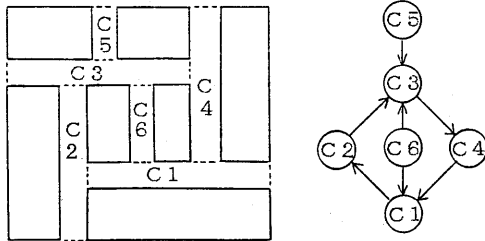


図4. 単純サイクルを含むチャンネルグラフと配置

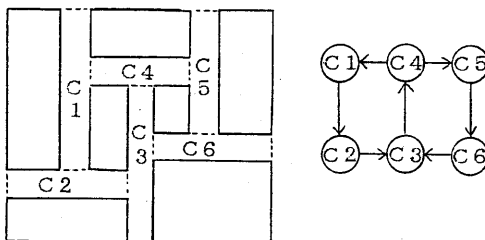


図5. 複合サイクルを含むチャンネルグラフと配置

3. 単純サイクル巡回配線法の考え方

図6に示す非スライス構造配置は、チャンネルグラフ上で単純サイクルになっている。これを2辺固定チャンネル配線で配線しようとする、4つのチャンネル接合部のいずれか、例えばチャンネルC1とC4の接合部での、C4のチャンネル幅と接合端子の座標値を仮定し、C1、C2、C3、C4の順に配線する方法が考えられる。ところが、チャンネルC4の2辺固定チャンネル配線結果のチャンネル幅と接合端子の座標は、最初仮定した値と一致しなければならない。一致する仮定値を設定するのは困難である。

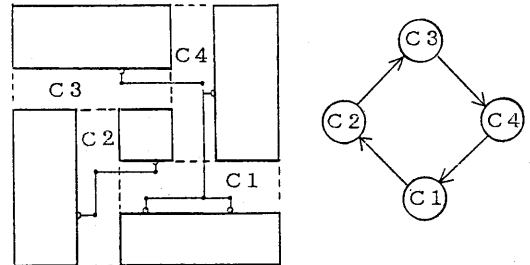


図6. 単純サイクル巡回配線

そこで、1つのチャンネル接合部のチャンネル幅と接合端子の座標を適当に仮定し、サイクル内のチャンネルを順次配線することを、チャンネル接合部のチャンネル幅と接合端子の座標が一致するまで継続すればよい。ただし、無限ループ処理に陥ることを防ぐために、繰り返し配線を途中で強制的に打ち切って、最後にチャンネル接合部の接合端子の座標を固定した3辺固定チャンネル配線をする。この時には、チャンネル接合部でのチャンネル幅と接合端子の座標は、適当な仮定値でなく、繰り返し配線した時の前回の配線結果の値を用いる。これが、本報告での非スライス構造配置に対する単純サイクル巡回配線法の考え方である。

本配線法では、チャンネルグラフのサイクル上のチャンネルを巡回して配線できなければならない。従って、チャンネルグラフ内のサイクルは、単純サイクルでなければならない。複合サイクルがある場合には、ブロックを移動して複合サイクルを解消しておく。

4. 単純サイクル巡回配線法によるブロック間配線
 ブロック間配線処理は、チャンネル分割処理、グローバル配線処理、詳細配線処理から成る。

4. 1 チャンネル分割処理

チャンネル分割処理では、ブロック間の配線領域をチャンネルに分割する [2]。そして、チャンネルグラフに複合サイクルがあれば、複合サイクルを解消する。

1) ブロック配置に対して、ブロックの各辺を他ブロック辺またはチップ外枠に到達するまで延長した直線を作る。

2) 2つの直線の間にブロックがなく、一方の直線の区間が他方の直線の区間に含まれる包含関係にある時、2つの直線を併合する。直線が十字形に交叉している場合は、2つのT形の接合に分解する。すべてのブロック間に存在する直線が1本になるまで、この操作を繰り返す。できた直線に対応する配線領域をチャンネルとする。

3) チャンネルグラフを作成する。

4) チャンネルグラフに複合サイクルがある場合には、複合サイクルを解消する。複合サイクルに含まれる各チャンネルの両側に接合している2つのチャンネルを探し、この2つのチャンネルの間の距離が最も小さい組合せを求める。そして、この2つのチャンネルを統合して、間のチャンネルを分割する。この操作を複合サイクルがなくなるまで行なう。

図7は、チャンネルC1とC3を統合し、チャンネルC2を分割することによって、複合サイクルを解消した例である。

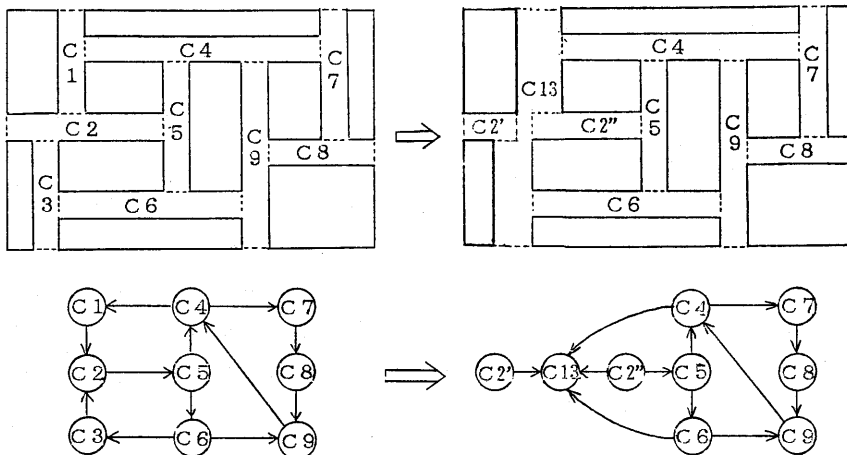


図7. 複合サイクルの解消

4. 2 グローバル配線処理

グローバル配線処理は、各ネットの配線が通過するブロック間のチャンネル、及び、ブロック内の上下方向直線通過位置を決める [8]。

まず、チャンネルグラフに、各ブロックに対してブロック内通過配線本数の制限値をもつチャンネルを追加する。次いで、各ネットについて、接続すべき端子座標の重心に最も近いチャンネルを目標として設定する。そして、各端子からこの目標のチャンネルに向かって最短の配線径路をチャンネルグラフ上で探索する。

4. 3 詳細配線処理

詳細配線処理では、チャンネルグラフの有向枝の順序を守って、チャンネルを順次配線する。チャンネルグラフにサイクルがある時は、前述のチャンネル分割処理によって単純サイクルのみである。

チャンネルグラフのサイクル上にない頂点に対応するチャンネルは2辺固定チャンネル配線する。

チャンネルグラフの単純サイクル上にある頂点に対応するチャンネルに対しては、まず、サイクル内の任意の1つのチャンネル接合部のチャンネル幅をグローバル配線で求めた配線重複数に設定し、接合端子の座標を配線長最小になる位置に仮定して、4つのチャンネルを順に2辺固定チャンネル配線する。そして、各チャンネル接合部のチャンネル幅と接合端子の座標を、前回値として記憶する。

1つのチャンネルを配線するごとに、チャンネル幅と接合端子の座標がすべて前回値と一致するか比較する。すべて一致すれば、サイクルを成す4つのチャンネルの配線を終る。不一致の値があれば、今回の配線結果のチャンネル幅と接合端子の座標値を前回値として記憶し、同時に、不一致数も記憶する。そして、次のサイクル内のチャンネルに移る。

4つのチャンネルの配線処理の繰返し回数が規定値を越えた場合には、強制的に繰返し配線を打ち切って、4つ

のチャンネル接合部の中で、チャンネル幅と接合端子の座標値の不一致数が最小のチャンネル接合部を選ぶ。そして、この接合部の次ぎのチャンネルから順に3つのチャンネルを2辺固定チャンネル配線する。そして、4つ目のチャンネルは、チャンネル接合部のチャンネル幅と接合端子の座標を前回値に固定して、3辺固定チャンネル配線 (4. 3参照) する。

図8を例に説明すると、チャンネルC1とC2の間の接合部が不一致数最小であったとすると、チャンネルC1とC2の接合部のチャンネル幅と接合端子の座標を前回値に固定して、チャンネルC2、C3、C4を2辺固定チャンネル配線する。その後、チャンネルC1を3辺固定チャンネル配線する。

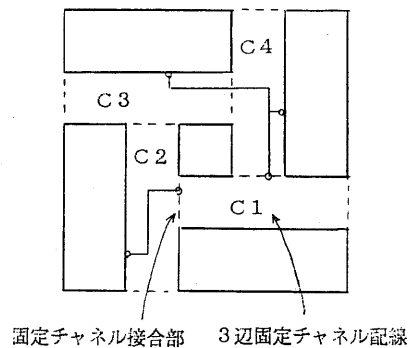


図8. 繰返し強制打ち切り後の
3辺固定チャンネル配線

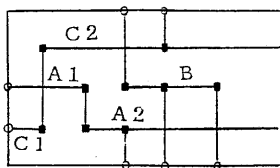
4. 3 3辺固定チャンネル配線法

3辺固定チャンネル配線では、チャンネル幅と一方の接合端子の座標が固定されるので、未配線を発生する可能性を持っている。そこで、この可能性を小さくするために次のように工夫した。

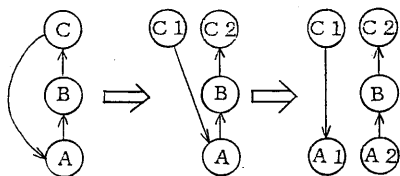
＜3辺固定チャンネル配線＞

- 1) 対向2辺の端子による垂直制約条件を抽出して、垂直制約グラフを作成する。さらに、接合端子の座標の並び順を垂直制約条件として垂直制約グラフに追加する。
- 2) 垂直制約グラフにサイクルがあれば、幹線を分割してサイクルを解消する。この時、接合端子につながる幹線に対しては、対向2辺の端子による垂直制約位置と接合端子との中間位置で幹線分割する。
- 3) 接合端子とつながる幹線が制約パス上にあり、制約パスから決まる幹線の配線可能範囲にこの接合端子の座標がない時にも、この幹線を対向2辺の端子による垂直制約位置と接合端子との中間位置で幹線分割する。
- 4) 幹線をトラック割付する。

図9に3辺固定チャンネル配線における幹線分割による垂直制約グラフの変化を示す。(b)は、接合端子の並



(a) 配線結果



(b) (c) (d)

垂直制約グラフの変遷

図9. 3辺固定チャンネル配線

び順を垂直制約条件として追加した制約グラフである。

(c)は、サイクルを解消するために、幹線CをC1とC2に分割した後の制約グラフである。(d)は、制約パスにより幹線の座標が接合端子の固定座標に合わないため、幹線AをA1とA2に分割した後の制約グラフである。この配線結果が図9(a)である。

5. 実験結果

図10と図11は、非スライス構造配置のブロック間配線結果とそのチャンネル構造を示す。ブロック数は16、ネット数は250、端子数は521である。この非スライス構造配置におけるサイクル内の4つのチャンネルの配線は、7回目のチャンネル、すなわち、繰返し2周目にチャンネル幅と接合端子座標がすべて一致して終了し、繰返し配線のみで十分であった。配線処理時間は16.8秒(M-680H)であった。

6. 結言

非スライス構造配置に対して、チャンネルを巡回して繰返し配線する「単純サイクル巡回配線法」を提案した。本方法は、チャンネルグラフの単純サイクルに対応するチャンネルを繰返し配線することにより、チャンネル幅と接合端子の座標を一致させる方法である。また、繰返し回数を抑えるための3辺固定チャンネル配線法についても述べた。実験結果から、本方法が有効であることを確認した。本方法を組み込んだブロック間配線プログラムは、製品のLSIのレイアウトに使用されている。

7. 謝辞

本研究の機会を与えてくださったことに対して、福田秀樹部長、小澤時典部長、寺井秀一郎長に深謝します。また、秋山俊恭、松澤信彦両氏に対して、有益な議論をしていただいたことに感謝します。

8. 参考文献

- (1) H. Kawanishi et al., "A Routing Method of Building Block LSI," Proc. 7th Asilomar Conf. on Circuits, Systems and Computers, pp.119-123, 1973.
- (2) S. Kimura et al., "An Automatic Routing Scheme for General Cell LSI," IEEE Trans. on CAD, vol. CAD-2, no.4, pp.285-292, 1983.
- (3) C. P. Hsu, "A New Two-Dimensional Routing Algorithm," Proc. 19th DA Conf., pp.46-50, 1982.
- (4) M. Fukui et al., "A Block Interconnection Algorithm for Hierarchical Layout System," IEEE Trans. on CAD, vol. CAD-6, no.3, pp.383-391, 1987.
- (5) W. M. Dai et al., "Routing Region Definition and Ordering scheme for Building-Block Layout," IEEE Trans. on CAD, vol. CAD-4, no.3, pp.189-197, 1985.
- (6) H. H. Chen, "Routing L-Shaped Channels in Non-slicing Structure Placement," Proc. 24th DA Conf., pp.152-158, 1987.
- (7) 大中 他, "L形チャネル配線のためのグリーディ算法," 情報処理設計自動化研究会, 44-8, pp.59-65, 1988.
- (8) 三浦 他, "VLSIブロック自動配置手法," 情報処理設計自動化研究会, 24-2, pp.1-8, 1984.

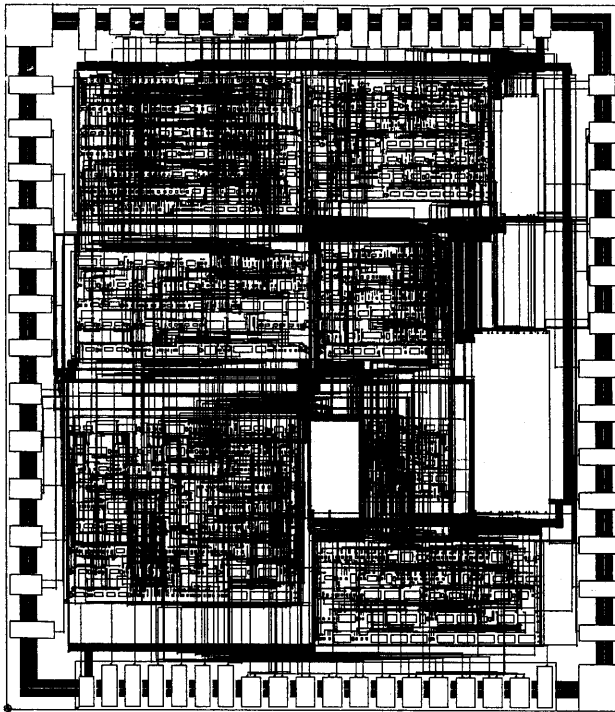


図10. 非スライス構造配置のブロック間配線結果

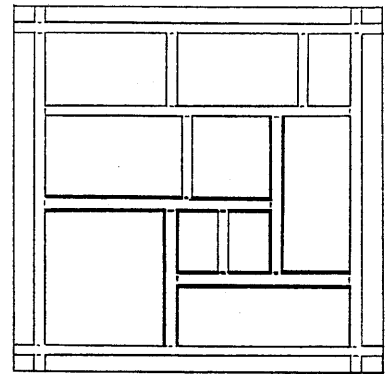


図11. ブロック間配線結果のチャネル構造