

チャンネル配線による高速LSI用特殊配線実現法

武井 雄一郎、安達 徹

NTT LSI 研究所

神奈川県厚木市森の里若宮3-1

あらまし

太幅配線、隣接配線などの高速LSI用性能指向配線は通常配線と異なり、割当トラックを制御する必要がある。本文では性能指向配線を実現するチャンネル配線法を提案する。本手法はグリッドベースのチャンネル配線であり、複数トラックを占有する太幅配線を占有トラック数個の普通幅配線により構成される隣接配線とみなして配線する。太幅配線の占有トラック数は、線幅と配線の両隣のトラックへの普通幅配線の配線可能性を考慮して決定する。本文では性能指向配線実現のための上下制約グラフ構築法とこの上下制約グラフをもとにした配線のトラック割当方法を説明する。

和文キーワード 高速LSI用性能指向配線、太幅配線、隣接配線、LSI CAD

Channel Routing Method for High Speed LSI with Performance Driven Routing

Y. Takei, T. Adachi

NTT LSI Laboratories

3-1, Morinosato Wakamiya, Atsugi-Shi, Kanagawa Pref., 243-01 Japan

Abstract

In this paper, the authors introduce grid-based performance driven channel routing method with variable-width routing and pair routing. A variable-width wire is translated into a cluster of unit width wires which occupies consecutive tracks. The number of tracks is determined in order to satisfy design rule. We explain vertical constraint graph formulation for pair wires and track assignment method on this graph.

英文 key words performance driven routing, variable width routing, pair routing, LSI CAD

1 はじめに

微細化技術が進みディープサブミクロン時代になると、ゲート遅延と比較して配線遅延が無視できなくなってきた。特に高速LSIのクロック線はタイミング上影響の大きい点から通常配線とは区別されて配線され、寄生抵抗を減らすための太幅配線や、スキューを低減するための特別な形態の配線などの特殊配線（性能指向配線）を用いて配線する必要が生じてきている。

バイポーラ超高速LSIのECLでは差動クロックが用いられ、スキュー最小、ノイズマージン拡大を目指し、クロック配線は隣接配線 [6] を用いて配線する。従来、バイポーラLSIの特殊配線は自動配線終了後人手により配線を修正して実現されてきた。回路の大規模化にともない人手修正は困難になってきたため特殊配線の自動化手法が開発されてきた [7]。

大規模CMOSLSIではクロック配線を人手によりプリ配線した後他の通常配線を行う方法を採用しているツールがある。既存のチャンネル配線法を用いた特殊配線の自動化手法としては、[3]、[4]があげられる。[3]は配線格子を用いたチャンネル配線手法であり、[4]は配線格子を用いないチャンネル配線手法である。どちらも太幅配線を取扱えるが隣接配線は取扱えない。超高速になるとスタンダードセル方式のCMOSLSIでも隣接配線やセル際優先配線は必要になると予想される。

本論文ではスタンダードセル方式のCMOSLSIにおいて、特殊配線と通常の配線を同時に配線するチャンネル配線手法を用い、複数トラックを占有する太幅配線を占有トラック数個の普通幅配線により構成される隣接配線とみなして、太幅配線と隣接配線を同様に配線できる方法を提案する。

本文では通常配線をしている場合には現れず特殊配線を配線する場合に生じる新たな制約について述べ、この制約を上下制約グラフへ付加する方法と隣接配線、太幅配線をトラック割当する方法について説明する。

2 特殊配線

ここでは、高速LSI用特殊配線である太幅配線、隣接配線、セル際優先配線について説明

する。

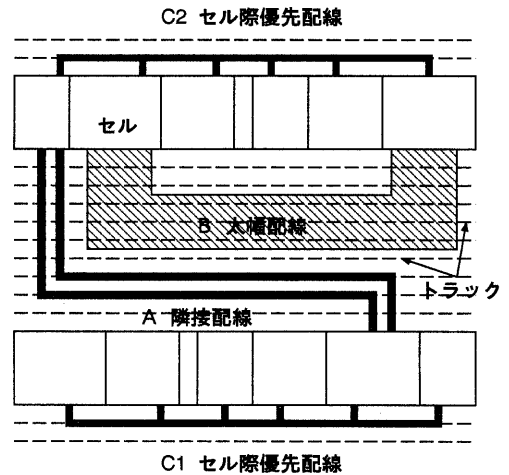


図 1: 特殊配線

2.1 太幅配線

太幅配線は、複数トラックを占有する配線であり、寄生抵抗を小さくすることを目的としている。高速信号の伝達が可能である。3トラックに跨る太幅配線の例を図1のBに示す。

2.2 隣接配線

隣接配線は、複数本の配線を隣接トラックに割当てる配線であり、等長、等経路配線を目的としている。隣接配線は等長であるので、伝達信号の同時性を保持することが可能である。また、等経路を通過するので配線は等ノイズを受け、ノイズマージンが拡大すると考えられる。2本の配線よりなる隣接配線の例を図1のAに示す。

2.3 セル際優先配線

セル際優先配線は、物理的に可能なかぎりセルの近くのトラックに配線を実現することで支線長最短配線を目的としている。高速信号の伝達を必要とするネットに用いる。

実現法についてはレフトエッジ法 [1] による配線の過程で、上下制約グラフの該当ノードが親なし、子なしになったときに優先的にトラック割当をおこなえば容易に実現できる。以下ではセル際優先配線の実現方法についての記述は省略する。

3 特殊配線実現方法

3.1 配線格子について

チャンネル配線手法としては、配線格子をもちいたグリッドベースの方法 [3] と配線格子を用いないグリッドレス [4] の 2 種類の配線手法がある。

グリッドレスのチャンネル配線手法は線幅の異なる配線間の線間ルール (スペーシングルール) をすべての配線毎に保持する必要がある。大部分の配線が異なる線幅をもつ場合には、チャンネル幅の削減に効果が大きいと考えられるが、実際には、太幅配線の対象となる配線はクロック線や、遅延制約上クリティカルパスを構成する配線などタイミング制約上重要な一部の配線だけであり、大部分は普通幅配線である。

普通幅配線の線間ルールを満足するグリッドベースの配線手法を用いれば、普通幅配線の配線間の線間ルールを考慮する必要は生じない。太幅配線については普通幅配線との線間ルールについてのみ考慮すれば十分である。本手法では普通幅配線の線間ルールを満たすグリッドを用いたグリッドベースのチャンネル配線手法を採用した。

3.2 基本となる配線アルゴリズム

本手法のベースとなる配線アルゴリズムとしてレフトエッジ法 [1] を用いた。マージ法 [2] を用いて隣接配線を実現する場合 [7]、隣接配線間に他の配線が入り込むようなマージを採用する危険性がある。このため隣接配線を妨害するマッピング枝はマージを中止するため削除する。マッピング枝の削除によりゾーン間の 2 部グラフの最大マッピングが実現できず、同トラックに配線可能な配線数が減少するからである。マージ法を用いて隣接配線を行うとチャンネル幅は増加する。

これに対しレフトエッジ法は、配線を 1 本ずつトラックに割り付ける。トラック割当ごとに上下制約グラフは更新されるが、新しい制約が生じることはなく、既存の制約が減少するだけであるため配線のトラック指定が容易である。特殊配線の割当トラック制御にはマージ法よりもレフトエッジ法の方が適していると考えられ

る。本手法ではレフトエッジ法をもとにしたトラック割当手法を採用した。

3.3 太幅配線の隣接配線による表現

複数トラックを占有する太幅配線は、占有トラック数個分の普通幅配線により構成される隣接配線とみなす。図 2 に示す結線要求中にある 2 トラックを占有する太幅配線 2 の結線要求は図 3 のようになる。図 2 の太幅配線 2 は 2 本の配線よりなる図 3 の隣接配線 2、3 として配線することができる。

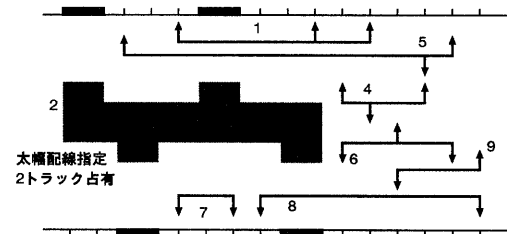


図 2: 太幅配線を含む結線要求

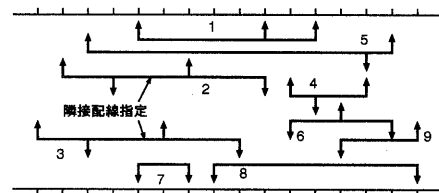


図 3: 隣接配線を含む結線要求

太幅配線と他の幅の配線の線間ルールを考慮して配線する場合、該当する太幅配線に隣接するトラックに普通幅配線が配線できるかを考慮して太幅配線を普通幅配線の隣接配線として表す。普通幅配線が隣接配線できない場合にはそのトラックの分まで太幅配線が占有することにする。例えば図 4 のように太幅配線 A の両隣のトラックに普通幅配線が配線不可能な場合、配線できないトラックの分まで配線 A が占有すると考え、太幅配線 A は A-1、A-2、A-3 の 3 本の普通幅配線よりなる隣接配線とみなして配線する。

この方法によると多種類の線幅の太幅配線間の線間ルールを考慮する場合、線間の間隔を広くとり過ぎる場合がある。しかし、実際には太

幅配線指定のネットはクロック線などのタイミング制約上重要な配線のみであり、大部分の配線は普通幅配線であるので本手法は有効であると考えられる。

以上のように太幅配線は隣接配線とみなして配線できるので、以下では隣接配線の配線方法について記述する。

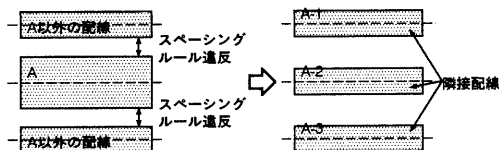


図 4: 普通幅配線との線間ルールを考慮した太幅配線の隣接配線による表現

3.4 特殊配線により発生する上下制約

既存配線方法を用いて隣接配線を失敗する例をもとに特殊配線を実現する上で発生する新たな制約について説明する。

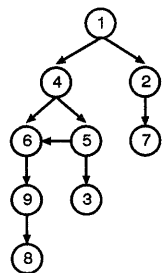


図 5: 上下制約グラフ

結線要求と上下制約グラフをそれぞれ図3と図5に示す。図3では配線2、配線3が隣接配線に指定されている。レフトエッジ法を用いて配線すると図6に示したように配線2と配線3の間に配線5が入り、配線2と配線3は隣接配線とならない。この原因は配線2を配線5よりも上のトラックにおいてしまったからである。配線5は配線2よりも上のトラックに配線されなければ隣接配線は実現できない。

これは配線2と配線3を隣接配線する場合に配線5と配線2の間に発生する新たな上下制約を考慮して配線のトラック割当をしなかったことが原因である。既存の上下制約グラフにはこの情報は存在しない。

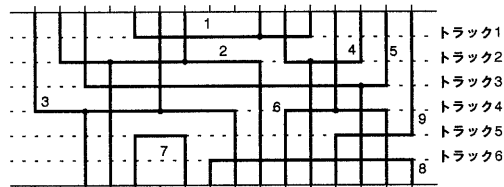


図 6: 既存配線法による隣接配線の失敗例

3.5 隣接配線実現手法

以上述べた問題点を解決した隣接配線の配線方法について失敗例とおなじ結線要求を例として実現手法を説明する。

3.5.1 上下制約グラフ構成方法

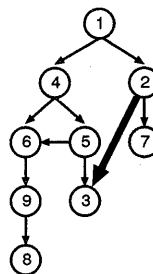


図 7: 隣接配線間に制約枝を設けた上下制約グラフ

まず既存手法により構成された上下制約グラフ図5の配線2、3に相当するノード間に上下制約を付け加える。制約を表す有向枝の向きは、上下制約鎖の最長パスが長くない方を採用する。図5の場合、配線2が配線3の上に位置するように上下制約枝をつける(図7)。付加した有向枝により配線5と配線2の間に上下制約が生じる。この上下制約グラフをもとに配線のトラック割当をおこなう。

3.5.2 トラック割当方法

図8に隣接配線のトラック割当のプロチャートを示す。

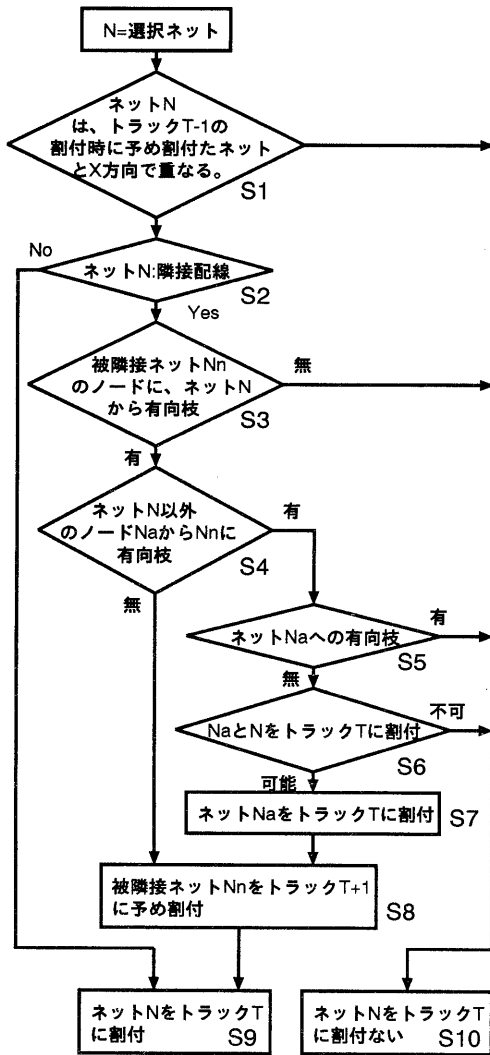


図8: トラック T での隣接配線のトラック割当フロチャート

フロチャートはトラック T において配線候補に選ばれたネット N について記述されている。フロチャートはレフトエッジ法に隣接配線の隣接トラックへの配線可能性を確認する手順 (S2 から S6 まで) を付加したものである。

S2 は配線 N が隣接配線に指定されていることをチェックする。S3 は配線 N とペアである被隣接配線 N_n の間に本手法により上下制約をあらわす有向枝が付加されていることをチェックする。

S4 は被隣接配線 N_n が他のノード N_a から上

下制約を受けていないことをチェックする。もし N_a が存在しないなら、 N を上下制約グラフから取り去ると必ず N_n が親なしノードとなるから、 N をトラック T に割当てれば、 N_n は N の隣接トラックに必ず割り当てることができる。もし N_a が存在するならば、まず N_a が上下制約を受けていないことを S5 によりチェックする。もし上下制約を受けているならば N をトラック T に割り当てると隣接配線ができなくなる。 N を上下制約グラフから取り去っても N_n が親なしノードとならないからである。また N_a が上下制約を受けていない場合、S6 により配線 N_a と配線 N をトラック T に同時に割当られることをチェックする。もし割当られれば、配線 N をトラック T に割当ることができる。これは N と N_a を同時に上下制約グラフから取り去ると必ず N_n が親なしノードとなるからである。

S2 から S6 までの処理で隣接配線の実現可能性を確認することができる。手順 S1 は T-1 トラックでおかれた隣接配線とかさならない配線候補を選択すつための処理である。

以下に実際の割当手順を示す。トラック 1 では従来のレフトエッジ法と同様の処理で配線 1 が割当てられる。

トラック 2 については以下のような処理手順となる。レフトエッジ法により配線 2 がトラック割当候補として選択される。図 8 の S2 で N は配線 2 となる。配線 2 は隣接配線であるので配線 2 に隣接配線である配線 3 に向かう有向枝が配線 2 以外からでいていないかを調べる (S3)。配線 6 から配線 3 に向かう有向枝があり (S4)、さらに配線 5 から配線 6 へ向かう有向枝があるので (S5)、配線 2 はトラック 1 に割り当てることはできない。そこで配線 2 は対象外とし、次にレフトエッジ法により選択される配線 1 をトラック 2 に割り当てる。他のネットはトラック 1 に割り当てられない。

トラック 3 についても同様に隣接配線 2 は割当られず配線 5 が割り当てられる。

トラック 4 については以下のような処理手順となる。上下制約グラフで親なしのノードである配線 2、6 のなかでもっとも左に端子をもつのは配線 2 である。図 8 の S2 で N は配線 2 となる。配線 2 は隣接配線であるので配線 2 に隣

接する配線3に向かう有向枝が配線2以外からでないかを調べる(S3)。配線3に向かう有向枝はない(S4)。S4で配線2と配線3は隣接トラックに配線できることが確認される。配線3をトラック5に割当(S9)、配線2をトラック4に割当てて(S10)。

トラック5では、S1により配線3とX方向で重ならない配線9を選択する。あとは通常のレフトエッジ法を同様の手順となる。以上の手順で配線した隣接配線の実現例を図9に示す。

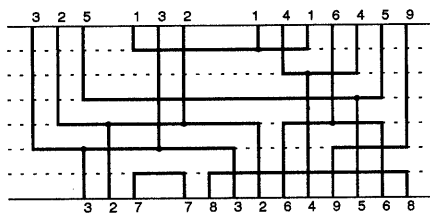


図9: 隣接配線の実現例

3本以上の配線より構成される隣接配線については、図8のプロチャートは修正を必要とするが基本的な手順は変わらない。

3.6 太幅配線実現手法

太幅配線についても隣接配線とみなして表したのちには図8のプロチャートを用いて実現することができる。太幅配線の実現例を図10に示す。

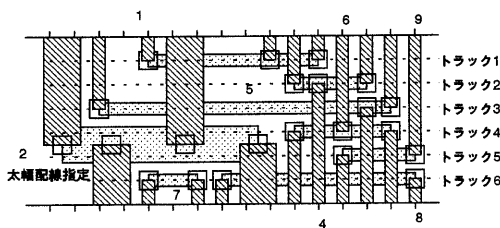


図10: 太幅配線の実現例

4 まとめ

チャンネル配線手法により、太幅配線、隣接配線などの特定配線について配線トラックを指定する特殊配線の実現手法について示した。配線方法はグリッドベースの配線手法を採用し、隣接配線と太幅配線を同様の手法で配線した。太

幅配線の配線には配線間の線間ルールを満足するように太幅配線の占有する配線トラック分の隣接配線を仮定し配線を実現した。

参考文献

- [1] A. Hashimoto and S. Stevens, "Wire routing by Optimizing channel assignment within large apertures," in Proc. 8th Design Automation Workshop, pp. 155-169, 1971.
- [2] T. Yoshimura and E.S. Kuh, "Efficient Algorithms for channel routing", IEEE Trans. Computer-Aided Design, vol. CAD-1, no. 1, pp. 25-35, Jan. 1982.
- [3] H. Rothereml and D. A. Mlynski, "Automatic Variable-Width Routing for VLSI", IEEE Trans. Computer-Aided Design, vol. CAD-2, no. 4, pp. 271-284, Oct. 1983.
- [4] H. H. Chen and E. S. Kuh, "A Glidless Variable-Width Channel Router", IEEE Trans. Computer-Aided Design, vol. CAD-5, no. 4, pp. 459-465, Oct. 1986.
- [5] W. W. Dai, R. Kong and J. Jue, "Rubber Band Routing and Dynamic Data Representation", IEEE Intl. Conf. on Computer-Aided Design, 1990, 52-55.
- [6] K. Koike, K. Kawai and H. Ichino, "A Design Methodology of Bipolar Standard Cell LSIs for Gbit/s Signal Processing", 1993 BIPOlar/BiCMOS CIRCUITS AND TECHNOLOGY MEETING Oct. 4-5, to be presented.
- [7] 武井雄一郎、原田育生、北沢仁志、「高速LSI用チャンネル配線プログラム」DAシンポジウム'93論文集、ページ45-48