

自動配線における結線順序組替えの手法

8N-1

加藤一郎

(株)NEC 生産システム開発本部

1. はじめに

高密度化、複雑化するプリント基板の配線設計において、各ピンペアを逐次結線し経路を確定していく自動配線では、配線率の向上に限度がある。そこで、一度結線を完了した配線をひきはがし、その近傍の問題を他の既配線ともども局所的に解決するリップアップ手法が実用化されている。しかし、実際のプリント基板の配線設計は局所的な領域での解決は難しい。そこで連続的にひきはがしが行われる事で、基板全面に渡る問題解決を行う手法が必要であると考えた。この方法は、局所的に問題解決を行わないまま処理が続行されるため、無限ループに陥る可能性がある。したがって、無限ループを制御する工夫が必要となる。

2. 結線順序の組替え

ひきはがし再配線のサイクルを全ピンペアに適用する事は、いわば結線順序を組替えていく事に他ならない。今、図1の様にAからGまでのピンペアが存在しており、この順序で結線を試みる事を考える。Aから順に結線を完了させていき、Eで失敗した場合、Eピンペアの近傍に存在する既配線から順にひきはがし、その度にEの結線を試みる。図2の例ではEに最も関連していると思われるAがはがされ、更にCがはがされた段階でEの結線が成功した場合である。この段階で、既配線はBDE、未結線はACFGという結線順に組替えられた事になる。従来のリップアップ手法では、ひきはがしたACに対して再配線をその場で試み、それらがすべて結線可能であった場合に限りEに関する結線の成功とみなしていた。しかし本手法では、ACをひきはがした後にEが成功した時点で結線順序が組替えられたとみなし、ひきはがしによる配線処理は完了させ、再度Aから結線を試みはじめる。この様にすることで、例えば今度はAが失敗した場合に、BやDをはがして問題を解決するといった連鎖的な階層型リップアップを実現する。

3. 天敵ポイント

連鎖的なリップアップを単純に行うと、Aを引く

ためにBをはがし、Bを引くためにAをはがすといった無限ループが発生する。この症状はABCといった複数のピンペア間での無限ループの可能性もある。そこで、本手法では、AのためにBをはがした場合、AからBへのポイントを生成し、その因果関係を保存する事とし、このポイントを“天敵ポイント”と定義した。図2の例ではEからAへの天敵ポイントが発生する。この天敵ポイントにおいて次の条件①を与えると、ひきはがしによる無限ループを回避する事が可能となる。

『ひきはがしの対象となるピンペアからの天敵ポイントが、結線対象とするピンペアを指している場合は、ひきはがす事ができない』…①

この条件により、結線対象のピンペアをひくには他のピンペアのひきはがしによりルートを確認する事になる。例えば図3の様にDをひくためにBをはがすと、その時点でDからBへの天敵ポイントが発生する。次の段階でBを結線しようと試みる場合、DはBを指しているためD以外のピンペアをはがす事でBの結線を行わなくてはならない。この状態を“既配線の硬化”と定義した。すなわち、図3の例では既に存在するDからBへの天敵ポイントにより、Bの結線に対してDピンペアが硬化した事になる。このシーケンスにより、AのためにBをはがし、BのためにAをはがすといった単純な無限ループを回避する事が可能となる。すなわち、無限ループを避けて他の結線解を探す処理に移行させる事ができる。図3ではAやCのひきはがしによりBを結線する事を試みる。そして、ひきはがし可能な既配線をすべてはがしてさえ、結線対象のピンペアを結線する事ができない場合、始めて結線を断念する。

4. 天敵連鎖によるひきはがし

無限ループの可能性は、前述の様に2つのピンペア間で発生する様な単純な場合だけではない。例えば図4の様に、あらかじめAからBへの天敵ポイントが存在している状態で、Cの結線を試みる場合、Aをはがす事で結線が可能であった時、①の状態ではない。ここでAをはがすと天敵ポイントが3つ巴の状態にループを形成し、その後この

A B C のピンペアは無限に結線順序を入れ替え始める。このような状況を抑止するためには次の条件を結線順序組替えに加える必要がある。

『天敵ポイントの方向は結線順に対し、常に正方向でなくてはならない』…②

この条件により、あるピンペアをひきはがす時、そこから天敵ポイントにて連なっている全てのピンペアも同時にはがす事になる。そして未結線リストにはその順番で格納する必要がある。例えば図5の様にHピンペアが結線できずBピンペアをひきはがしピンペアに選んだ場合、Hに直接関係がなくとも、Bから天敵ポイントが張られているD、Fも連鎖的にひきはがす。この処理を“天敵連鎖”と定義した。天敵連鎖は、その時点のあらゆる既配線に対して、天敵を未結線リストへ追い込む効果を生み、たとえ複数のピンペアが巴状態に関係していたとしても、無限ループを抑止する十分条件を与える。条件②は前節の既配線の硬化にも影響を与える。すなわち天敵連鎖により結線対象のピンペアに行き着いた場合、連鎖中にトレースした全てのピンペアが硬化する事になる。

5. 実験結果

本手法の効果を測定するために、以下の仕様の基板について実験した。結線順の組替えは基板全面に渡って連鎖的に行われ、しかも無限ループに陥る事はなかった。ちなみに、いくつかの基板で、条件①および②を各々はずして実験したが、ものの2～3分で無限ループを発生した。本手法で提案する無限ループの抑止手法は、必要十分な条件に基づいている訳ではないが、いくつかの実験で裏付けされた十分条件は示している。本手法適用の有無に関する定量的比較表と生成した比較パターンを、それぞれ図6、図7に示す。結線順序の組替えにより配線チャンネルが効率的にアサインされ、ルータそのものに束線を発生するアルゴリズムを与えている訳ではないにもかかわらず、結線順の組替えにより派生的に束線が多く発生した。

6. おわりに

従来のリップアップ手法の様に局所的な問題解決を行わず、基板全面に渡るピンペア結線順序の組替えと、それに伴う無限ループの抑止処理を提案し、その効果を確認した。また、本手法は経路探索アルゴリズムではなく、その結線順序の制御により配線効率を高めるため、既存のルータに容易に組み込めることが予想される。さらに、従来のルータでは専用の経路探索アルゴリズムによって発生していた束線も、結線順序の組替えで最適なチャンネル割り当てが行われる事で、無理なく生成する事ができる。

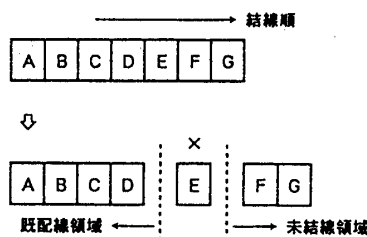


図1 結線順リスト



図2 天敵ポイント

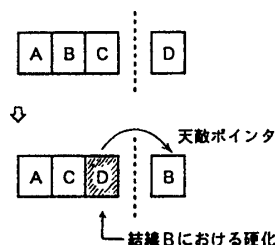


図3 既配線の硬化

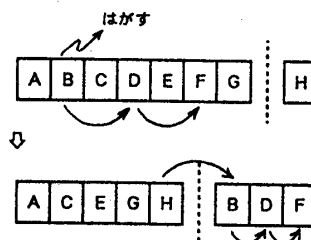


図5 天敵連鎖によるひきはがし

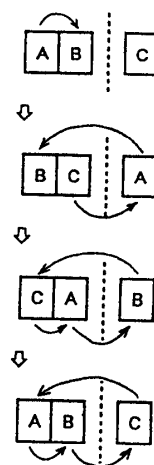


図4 三つ巴無限ループ

	組替え無し	本手法適用
結線率	86.6 %	100 %
未配線	100 本	0 本
処理時間	51 分	55 分
ビア数	822 個	1125 個

※ 746ピンペア、134部品、信号2層
(NEC EWS4800/250 : 33MIPS)

図6 比較表

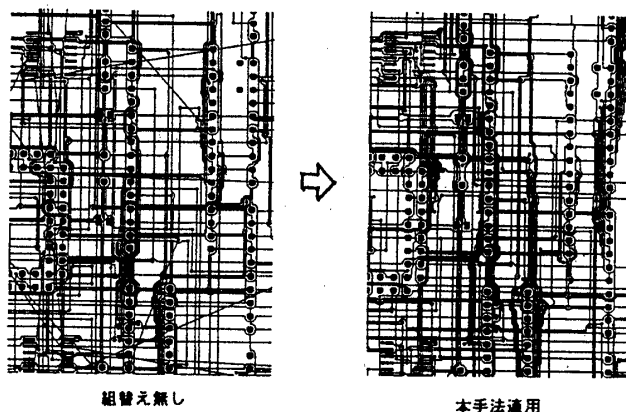


図7 パターン図