

バーチャルタイムによる並列LSI配線*

松本 幸則 伊達 博 瀧 和男[†]
 (財)新世代コンピュータ技術開発機構[‡]

1 はじめに

LSI配線設計は、LSI設計の中で多大な計算量を必要とする工程の一つであり、高速化が望まれている。並列処理は、LSI配線設計を高速化する手段の一つである。

予測線分探索法に基づく並列LSI配線についての報告[4]では、良好な速度向上が得られる一方、逐次実行時に比べ、多くの未配線端子対が残る、すなわち、配線品質が良くない場合があることが報告されている。この理由として、複数配線端子対の同時配線実行により、配線順が逐次実行時と異なること、また、複数配線端子対による同一配線領域の競合が発生した場合の取り扱いが難しいことの2点が指摘されている。

本稿では、並列LSI配線にバーチャルタイムの概念を導入することで、逐次実行時と同一の配線結果を保証しつつ、良好な速度向上が期待できる並列配線手法を提案する。

2 バーチャルタイム概要

メッセージ通信により、複数のオブジェクトが次々と状態を変えていくモデルを考える。メッセージはオブジェクトの状態変化をもたらすイベントの情報をもち、イベント発生時刻が印されている(タイムスタンプ)。

バーチャルタイム[1]では、メッセージは時刻順に受信されるであろうという楽観的予測に基づいて処理を進める。しかし、実際には時刻順にメッセージが受信されない場合が存在する。このような事態に備え、オブジェクトは履歴を保存しながら処理を進める。そして、時刻順にメッセージが受信されなかった場合、過去の履歴を巻き戻す(ロールバック)ことで、そのメッセージが正しい順序で受信された状態を再現した後、処理をやり直す。

バーチャルタイムの概念は、分散メモリマシン上での並列イベントシミュレーションの時刻管理機構として既に適用例があり、有効であることが報告されている[2]。

3 基本配線アルゴリズム

本提案では、2層格子配線を前提とし、基本配線アルゴリズムとして、「予測線分探索法」[3]をとりあげる。予測線分探索法は、比較的短時間で良好な配線結果を得られるものである。必ずしも最短経路を与えないが、迷路法に比べ、配線の折り曲げ回数が少ない¹という特徴を持つ。

予測線分探索法では、探索中の経路線分に直交する格子線(一段先の探索候補となる)において「先読み」処理を行なう。この処理によって、直交する格子線上の「期待位置」を各々求めた後、最良の「期待位置」を与えた格子線上に経路探索を継続する。また、バックトラック処理を導入することにより、配線経路が存在すれば、必ず発見できることも保証している。

4 オブジェクト指向モデル

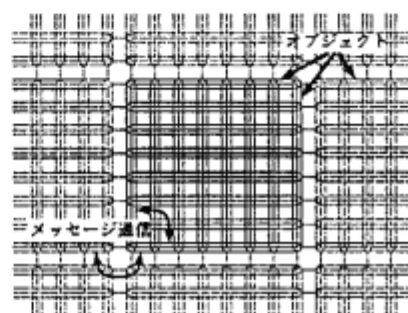


図1: オブジェクトモデル

本提案では、図1に示すように格子線を幾つかの部分格子線に分割し、これらをオブジェクトとして表現する²。

経路探索はオブジェクト間のメッセージ通信により進行する。オブジェクトは、受信メッセージに応じ、以下のよう動作する。

- ・探索要求メッセージ受信時：直交するオブジェクトに期待位置要求メッセージ送信。必要に応じ、同一格子線上の隣接オブジェクトに同じ探索要求メッセージ送信。
- ・期待位置要求メッセージ受信時：期待位置計算後、期待位置回答メッセージ返信。
- ・全ての期待位置回答メッセージ受信時：最良期待位置回答のオブジェクトに、次段の探索要求メッセージ送信。期待位置が得られない場合、探索要求メッセージ送信元へバックトラックメッセージ送信。

²格子点をオブジェクトとして表現した場合、メッセージ数が非常に多くなり、そのオーバーヘッドが問題となる。一方、矩形領域をオブジェクトとして表現した場合、メッセージあたりの履歴量が大きくなる問題がある。ただし、部分格子線単位の履歴管理により履歴量を抑えることは可能である。また、格子線を部分格子線に分割した理由としては、1: 同一矩形を構成する部分格子線を同一プロセッサに割り当てることで、プロセッサ間通信オーバーヘッドが抑えられる、2: 近接したネットワークの探索を同一プロセッサで行うことで、ロールバック頻度を抑えられる、の2点がある。

*Parallel LSI Routing based on Virtual Time

[†]Yukinori MATSUMOTO, Hiroshi DATE, Kazuo TAKI[‡]Institute for New Generation Computer Technology¹LSI製造上、折り曲げ回数は少ない方が望ましい

・バックトラックメッセージ受信時：期待位置要求メッセージを全直交オブジェクトに再度送信。

5 並列配線の問題点

4節のモデルに基づき、複数の配線端子対(ネット)について同時配線処理した場合、逐次実行時と同じ配線品質が保証されないという問題が発生する。

この理由の一つに、複数ネットの同時配線実行時の配線順が、逐次実行時と異なる点がある。配線順は配線品質に大きな影響を与えるため、通常の逐次実行時には、注意深く配線順が決定される。配線順が異なれば、当然ながら配線結果も逐次実行時と異なる。配線品質についても、逐次実行時より良好な結果は期待し難い。

また、複数ネットによる同一配線領域の競合も、配線品質を損なう理由の一つである。競合とは、一つの配線領域が、経路探索中の状態にある複数のネットの経路として、(一時的な場合も含め)選択され得る場合をいう。[4]では、このような場合、競合する配線領域を、先に選択したネットの経路とみなし、他ネットには配線済み状態に見せる方法をとっている。しかしバックトラック発生時には、この領域は結局どのネットの経路にもならない可能性がある。

6 バーチャルタイムの適用

本節では、バーチャルタイムの概念を用いることで、配線順が保証できること、および配線領域競合問題が解決できることを示す。

6.1 タイムスタンプ

全てのメッセージに、 $\{NetNo, TurnNo\}$ の構造をしたタイムスタンプを持たせる。ここで $NetNo$ として、各ネットの配線順を与えることとする。また、 $TurnNo$ として、探索開始時の探索要求メッセージには0を与える。以後新たな探索要求メッセージを送信する毎に、あるいはバックトラック要求メッセージを送信する毎に、1加えた値を与える。期待値要求および回答メッセージには、その直前に受信された探索要求メッセージまたはバックトラックメッセージと同じを $TurnNo$ と与える。

タイムスタンプの大小は、次のように定義する。

- ・ $NetNo$ が異なるもの： $NetNo$ の大きい方がタイムスタンプも大きい。
- ・ $NetNo$ が等しいもの： $TurnNo$ の大きい方がタイムスタンプも大きい。

各オブジェクトでのメッセージ処理は、必ず、タイムスタンプ順に行うこととする。しかし、タイムスタンプ順にメッセージが受信できることは保証されないため、もし、処理順に矛盾が生じた場合は、ロールバックにより処理の修正を行う。

6.2 配線順の保証

メッセージは配線順を反映したタイムスタンプを持つ。したがって、メッセージが時刻順に処理されている場合、配

線順は守られている。また、メッセージが時刻順に処理されていなかった場合、ロールバックが発生し、処理のやり直しをする。この場合も、ロールバック後では配線順が守られる。以上から、最終的には逐次実行時と同一の配線結果が得られる。

6.3 複数ネットによる配線領域の競合問題

ネット N の探索過程で、バックトラックにより、配線済み状態にある配線領域を未配線状態に戻す場合を考える。

バックトラックの時点で、この配線領域に関しバックトラックメッセージより大きいタイムスタンプを持つメッセージがまだ到着していなければ、競合は発生していないことになる。この場合は何ら問題はない。

一方、バックトラックメッセージより大きいタイムスタンプを持つメッセージを受信し、その結果として何らかのメッセージを出力していた場合は、別ネット N' との競合、およびその副作用が発生したことになる。

バーチャルタイムの概念にしたがえば、ネット N' について、この競合以降の探索処理は誤った処理となる。なぜなら、タイムスタンプ順に処理すれば、異なる処理結果となるからである。したがって、この場合ロールバックが発生し、この競合以降のネット N' の探索処理は全てタイムスタンプ順にやりなおされる。

このように、バーチャルタイムの適用により、配線領域競合後のバックトラックに起因する無駄配線領域の発生を防ぐことができる。すなわち、6.2節の場合と同様、逐次実行時と同一結果を得ることができる。

7 おわりに

バーチャルタイムの概念を用いた並列 LSI 配線手法を提案した。本方式により、逐次実行時と同一の配線結果が保証される。また、配線経路の競合がない配線端子対の経路探索は並列実行できるため、高速 LSI 配線が実現できる。

今後は、並列マシン PIM 上に、本方式に基づく並列 LSI 配線システムを構築し、性能評価を行う予定である。

参考文献

- [1] Jefferson, D. R. : Virtual Time, *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, Vol.7, No.3, pp. 404-425 (1985)
- [2] 松本, 龍: バーチャルタイムによる並列論理シミュレーション, 並列処理シンポジウム JSP'91 論文集, pp. 365-372 (1991)
- [3] 北沢: 高配線率線分探索の一手法, 情報処理, 第26巻第11号, pp.1366-1375 (1985)
- [4] 伊達, 大樹, 龍: 並列オブジェクトモデルに基づく LSI 配線プログラム, 並列処理シンポジウム JSP'91 論文集, pp. 381-388 (1991)