

3 D - 8

並列マシン Cenju 上の LSI ルーター - PROTON -

山内 宗 中田登志之

石塚昭夫 西口信行 小池誠彦

日本電気(株)

1 はじめに

我々は、64 台の要素プロセッサで構成された並列マシン Cenju [2] を開発して来た。並列計算機のアーキテクチャの評価を行なう際には、実用レベルの大規模な応用プログラムが必要であり、その一つとしてゲートアレイの配線処理を実装、評価したのでそれについてここに報告する。

2 並列マシン Cenju

並列マシン Cenju は 8 個のクラスターで構成され、各クラスター間はパケット交換の多段階で接続されている。各クラスターは、バスで接続された 8 台の要素プロセッサ (PE) で構成されている。メモリ空間は各 PE に分割された分散共有メモリの構成をとっている。また、各 PE 間の通信、同期は共有メモリや remote procedure call (rpc)、barrier 等を用いて実現することが可能である。

3 基本配線アルゴリズム

PROTON の配線アルゴリズムは「改良線分探索法」[3] を基本としたものである。このアルゴリズムは、障害物等の周辺にその領域を回避する様な配線経路の候補となる線 (エスケープ・ライン、EL) を予め生成し、それらの EL の中から最小折れ曲がりの経路を求める。但し元のアルゴリズムでは、複雑なデザイン・ルールへの対応がなされていないのでそれらの改良を施している。

4 配線処理に内在する並列性

配線処理には、ネット内並列性とネット間並列性の 2 つのレベルの並列性が内在すると考えられる。

4.1 ネット内並列性

これは、一つのネットを配線する処理に内在する並列性であり、線分探索法、迷路法等のアルゴリズム自体の並列性であるとも言える。ネット内並列性を用いる種々の並列化手法が提案されているが、PROTON では、図 1 の様に配線領域を配線方向に従って帯状に分割して各 PE にそれぞれの配線領域内での線分の探索を担当させることにより、配線処理の並列化を行なっている [6]。

4.2 ネット間並列性

複数のネットを同時に配線することによって得られる並列性である。ネット間並列性を用いた種々の並列配線アルゴリズム A Parallel LSI Router PROTON on the Parallel Machine Cenju
Tsukasa YAMAUCHI, Toshiyuki NAKATA, Akio ISHIZUKA, Nobuyuki NISHIGUCHI, Nobuhiko KOIKE
NEC Corporation

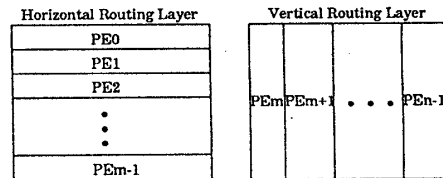


図 1: 配線領域の各 PE への割り当て

リズムも提案されているが、高い並列性を得ようとする配線率、配線の品質が低下するというものが多い。しかし、PROTON では、次節で述べる様に概略配線の結果を用いることにより、逐次アルゴリズムと比較して全く配線率や配線の品質を損なわずにネット間の並列性を引き出している。

5 PROTON におけるネット間並列性

一般的に、LSI の自動配線は概略配線と詳細配線の二つのフェーズで構成されていることが多い。これは、概略配線を用いることによって、探索空間を絞り込んで詳細配線の処理時間を削減し、配線の順番が配線の品質、配線率に与える影響を減らすためである。しかし、詳細配線は概略配線の領域内で行なわれるということを考えると、概略配線領域が重ならないネットは同時に詳細配線処理を行なうことが可能であることがわかる。そこで PROTON では、概略配線の領域が重ならないそれらのネットを並列に配線することにより、ネット間の並列性を引き出している。

PROTON でどの様にネット間の並列性を用いているかを図 2 に示す。

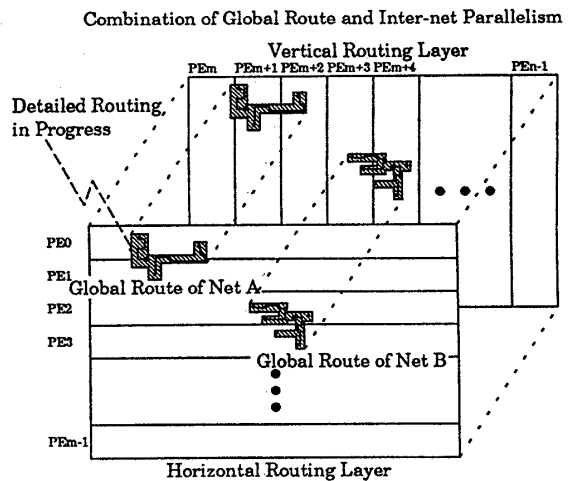


図 2: ネット間並列性

同時に配線可能なネットのグループを一つのRU(Routing Unit)として扱い、一つのRUの配線が終わったら全てのPEが同期をとり、次のRUの配線へと進む。その様子を図3に示す。この図はPE台数が8台の場合であり、9つのネット(#1~#9)は、各々の概略配線に従って3つのRU(RU0~RU2)に分けられている。

ここで重要なのは、PROTONでは、ネット間の並列性とネット内の並列性を併用しているということである。即ち、複数のネットを同時に配線する際に、各々のネットの配線についてはネット内の並列性を用いているということである。従って、概略配線領域が広くてネット間の並列性が低い場合には、逆に高いネット内並列性が得られ、平均的に常に高い並列性が得られるという特徴がある。

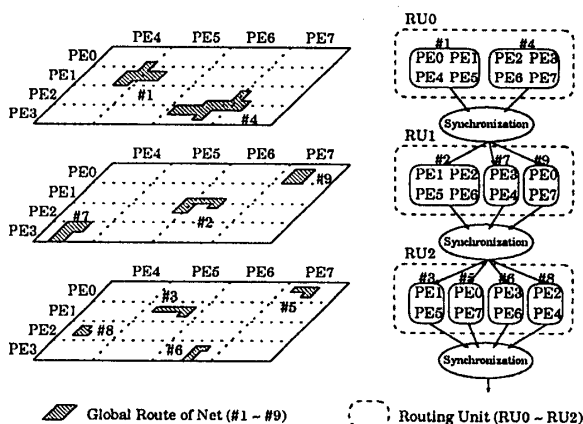


図3: ネット間並列性とRU

6 ネット間並列性の抽出

高いネット間並列性を得るためには、同時に配線することが可能なネットのグループ(RU)をどの様に選ぶかが重要である。各ネットの間では概略配線径路の重なり以外には依存関係も無いので、RUの選択はスケジューリングというよりはマッピングに近い処理となる。この様なマッピングには、bin-packing アルゴリズム [5] が適している。但し、単純に概略配線径路の重なりだけでマッピングをすると、負荷分散のばらつきが生じるおそれがあるのでPROTONでは、それ以外にネットを構成するピンペア数、概略配線径路の面積等も考慮に入れる様に bin-packing のアルゴリズムに改良を加えている。

7 PROTONの配線結果及び評価

図4にPROTONの評価結果(速度向上比)を示す。これは、

- ゲートアレイ A (2,832 × 2,742 格子、2,495 ネット (4,454 ピンペア)、障害物 57,487 個)
- ゲートアレイ B (1,537 × 1,790 格子、5,842 ネット (12,591 ピンペア)、障害物 151,982 個)

の二種類の配線結果である。これを見ると、ゲートアレイ A では、台数効果が 17 倍程度で飽和してしまっているが、ゲートアレイ B では、PE 数が 64 台の時に 43 倍の台数効果が得られている。ゲートアレイ A では、セルが配線領域に

中心部により多く存在しているために、PROTON の様な領域分割に基いた並列処理では負荷分散に偏りが生じてネット内並列性が損なわれたことが原因と考えられる。また、ゲートアレイ A では、各ネットの大きさが大きく、ネット間並列性があまり高くないということも原因として考えられる。一方、ゲートアレイ B は、配線領域に一樣に各セルが分布しており、各ネットの大きさも小さいのでネット内、ネット間共に高い並列性があり、43 倍という高い台数効果が得られたと考えられる。

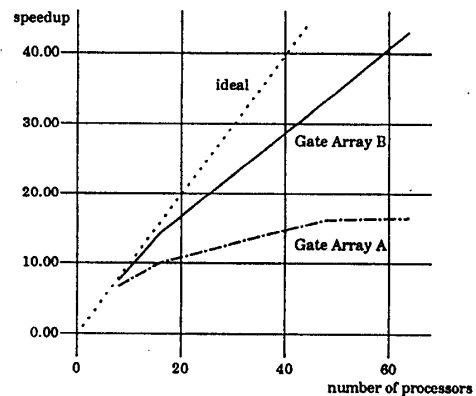


図4: 台数効果

8 おわりに

本報告では、実用規模のゲートアレイを配線する並列LSIルーターPROTONを並列マシンCenjuに実装、その評価結果について述べた。そして、ネット内並列性及びネット間並列性を用いることによりPE台数64台の時に43倍の台数効果を達成した。

今後の課題としては、より高い配線率を得るために、引き剥し法等の検討が挙げられる。

参考文献

- [1] T.Yamauchi, A.Ishizuka, T.Nakata, N.Nishiguchi and N.Koike, 'PROTON: A Parallel Detailed Router on an MIMD Parallel Machine', ICCAD-91, pp340-343 (1991).
- [2] 中田 他: 並列回路シミュレーションマシン Cenju, 情報処理 (30周年記念特集号), Vol. 31, No.5, pp.593-601, May, 1990
- [3] K.Suzuki, T.Ohtsuki and M.Sato, 'A Gridless Router: Software and Hardware Implementations', VLSI '87, pp121-131 (1987).
- [4] W.Lipski, 'Finding a Manhattan Path and Related Problems', NETWORKS, Vol.13, pp399-409 (1983).
- [5] B.S.Baker, E.G.Coffman, JR. and R.L.Rivest, 'Orthogonal packings in two dimensions', SIAM J.Comput., 9, pp846-855 (1980).
- [6] 山内、中田、石塚、西口、小池、「並列シミュレーションマシンCenju上のLSIルーターの評価」、情報第40回全国大会、5L-6 (1990).