

VLSI 論理合成システム自動操作シェルの実行制御方式

1M-5

大坪 基秀 藤田 悟 山之内 徹

NEC C&C 研究所

1 はじめに

VLSI 論理合成システムには、高性能化のために、多くの合成コマンドを用意したものがあ。合成対象回路や性能要求に応じてコマンドやオプションを選択することにより、最適な回路を合成することができる反面、システムに習熟していないユーザは、コマンドやオプションの適切さを判定することが困難であるという問題がある。そこで、合成対象回路と要求性能を指定するだけでコマンド選択発行を代行する自動操作シェル [1][2] の適用によって、この問題の解決を図った。

2 自動操作シェルの概要

自動操作シェルには、対象システムへ適用すべき操作（発行すべきコマンドなど）を枝とするコマンドツリーが与えられており、これを根から葉へ向かって探索する途中、枝を通過する時にその操作を適用することにより自動操作を実行する（図 1 参照）。コマンドツリーには、分岐条件の与えられていない非決定分岐が記述でき、自動操作シェルは、非決定分岐点に至ると、対象システムから取得した処理状況などの特徴量と、事前に与えられた統計データ（対象システムにいくつかの典型的な問題を与えて実行した時の特徴量などを蓄積したもの）をもとに、各分岐先の操作を実行した時に期待できる最終結果の品質を統計的に予測して、与えられた問題や品質要求に応じた最適な分岐先を決定する。

2.1 自動操作シェルの実時間制御機能

自動操作シェルは、一通りの操作実行では要求を満たす結果が得られない場合がある。そこで、指定された時間が経過するまで別の分岐へバックトラックして、第 2、第 3 の操作列を実行する実時間制御機能を実現して

Execution Control for VLSI Logic-synthesis System Management Shell

Motohide OTSUBO, Satoru FUJITA, Toru YAMANOUCHI
C&C Research Laboratories, NEC Corporation

性能向上を図った。

1 つめの解を得た後に、それを上回る解を求めて別の枝へバックトラックする探索アルゴリズムとして、Carbonell の開発した delta-min アルゴリズム [3] が知られている。delta-min アルゴリズムでは、分岐点を通る際に、選択しなかった枝に選択した枝からの評価値の差 (Δ 値) を付加し、探索が完了すると、残り時間のある間は Δ 値が最小の枝へバックトラックする。

自動操作シェルの実時間制御機能では、この delta-min アルゴリズムを次の 2 点において改良を加えた。

1. 分岐点通過後も評価値（予測値）は更新されるため、現在探索中の枝の評価値が下がった時には、探索途中でも他の枝へバックトラックする。
2. 予測値の大小だけでなく、その分布状況（分散）や分岐先の予測実行時間をもとに、残り時間内で実行可能で、より良い結果の得られる期待値が最大となる分岐先の組を求め、バックトラックの候補とする（時間内探索スケジューリング）。

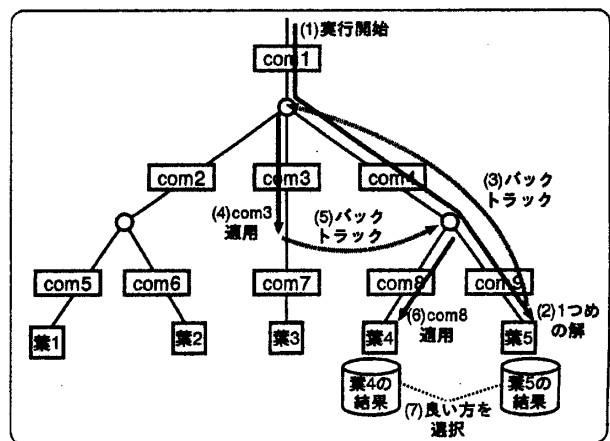


図 1: 自動操作シェル実時間制御機能の動作例

2.2 時間内探索スケジューリング

残り時間を考慮しない場合には、現時点での最良結果の品質（到達性能値）よりも良い結果の得られる期待値

が最も大きい枝がバックトラック先として最適である。品質は値が小さいほど良いとしたとき、最終結果の品質が到達性能値 x_0 よりも良くなる期待値 E は、品質の予測値の確率密度 $f(x)$ の累積分布関数で表される。

$$E = \int_{x_0}^{-\infty} f(x) dx$$

この E が最大となるパスを実行することが最適戦略となる。

一方、残り時間を考慮した場合には、指定時間内に収まるような操作列の組をうまく選び、総合期待値を最大化することが必要となる(時間内探索スケジューリング)。自動操作シェルでは、次のような近似的処理により高速な時間内探索スケジューリングを実現している。

1. 未実行の操作列の予測実行時間と期待値を求める。
2. 予測実行時間の短い順に操作列を選び、残り時間に収まる組を求める。
3. 残り時間内に実行可能で予想品質が最良の操作列の期待値を求め、2. で求めた操作列の組の総合期待値と比較して良い方を選ぶ。

3 VLSI 論理合成システムへの適用と評価

自動操作シェルを VLSI 論理合成システムへ適用して評価した。記述の一部が類似するものを含む 42 種類の評価用回路を用意し、30 通りの操作が可能なコマンドツリーを与えた自動操作シェルに、

- (a) 評価に用いた回路群から収集した統計データ
- (b) (a) から合成中の回路のデータを除いたもの
- (c) 評価に用いたものとは異なる回路群から収集した統計データ

の 3 通りの統計データを与えた場合について、各々 42 種類の回路の合成を行い、合成実行時間とその時刻に得られた合成回路性能(合成回路の遅延値)との関係をグラフ化した(図 2)。グラフの横軸は合成実行時間、縦軸は得られた回路の遅延値(小さいほど良い)である。比較のため、対象システムが持つ簡易合成コマンド(ヒューリスティックによりコマンドを選択して実行するメタコマンド)を実行した時の所要時間および合成回路の遅延値で正規化している。(a)~(c)のグラフが 3 種類の統計データを使用した時の性能であり、各々 42 回路の平均値である。

グラフより、簡易合成コマンドと同等の時間を与えた場合、自動操作シェルの方が良い回路を合成することができ、さらに長い時間を与えることで、より高品質の回路を得ることが確認できた。また、合成対象回路との関連がより強い回路群から作成した統計データを用いた場合ほど、短い時間で良い回路が合成される傾向にあり、自動操作シェルの操作の適切さの判断能力は、統計データに依存していることが分かる。

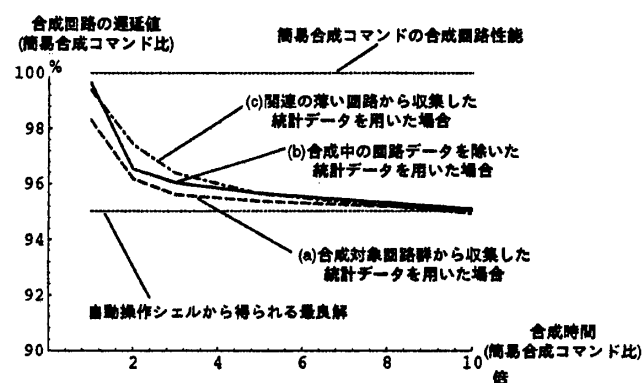


図 2: 指定時間における平均合成性能比較グラフ

4 おわりに

指定時間が経過するまで、より高品質の結果が期待できる他の操作を試みる実時間制御機能を備えた自動操作シェルを実現し、VLSI 論理合成システムへ適用して評価した。対象システムに組み込みの簡易合成コマンドと比較し、同じ合成時間で性能の良い回路を生成することができ、さらに時間をかけることにより、より高性能の結果を得ることを確認した。また、3 通りの統計データを用いた比較評価により、自動操作シェルの操作の適切さの判定能力は、統計データに依存することが確認できた。今後は、統計データを制御実行時に獲得する機能を実装して、実行環境に合わせてよりの確な操作を行うことにより、さらなる性能向上を図る予定である。

参考文献

- [1] 藤田, 大坪, 渡辺: "論理合成システムの統計的制御", 第 47 回情報処理学会全国大会, pp.2-7 - 2-8 (1993)
- [2] S. Fujita, M. Otsubo, M. Watanabe: "An Intelligent Control Shell for CAD Tools", The Tenth Conference on Artificial Intelligence for Applications, pp.16 - 22 (1994)
- [3] Jaime G. Carbonell: "DELTA-MIN: A Search-Control Method for Information-Gathering Problems" AAAI-80, pp.124 - 127, 1980