

論理合成システムの統計的制御

1 N-4

藤田 悟 大坪 基秀 渡辺 正信

NEC C&C 研究所

1 はじめに

論理合成システムは、合成性能をより高めるために、様々なアルゴリズムに基づく豊富なコマンド群、オプション群を用意する傾向にある。この結果、全体としては高機能ではあるものの、これら機能を使いこなすためには、複雑なノウハウが要求され、利用者の負担増加を招いている。また、通常の利用者は、複雑なコマンド列を作成することができずに、典型的なテンプレートに頼った合成を行うことになり、論理合成システムの豊富な機能を利用し尽くせない現状にある。そこで、筆者らは、利用者の介在なしに、利用者の要求性能を満たす合成結果が得られるように合成プロセスを実行制御するシステムの研究を行っている。

この合成制御システムは、合成手順に関する知識と、各種パラメータを違えたコマンド実行に関する統計データを持って、新たな合成要求に対して統計的判断を基に最終合成結果を予測し、最も利用者の要求を満たしそうなコマンドを逐次選択して実行を進める。利用者のシステム制御に関する負荷を減らすと同時に、合成システムを持つ標準的な実行手順よりも、面積 / 遅延特性に優れた回路の合成に成功している。

以下、本稿では、制御問題のモデル化と、制御に用いた統計的予測手法について報告する。

2 論理合成プロセスの制御

従来、LEAP[2]、BAGGER2[3]などが学習対象としてきた論理レベルの合成問題領域では、様々なアルゴリズム開発が進み、学習効果を実用領域で示すことはできない。そこで視点を変え、アルゴリズムに基づく豊富なコマンド群からなる合成プロセスを制御し、最適な解を導く問題を対象に研究を進めている。次に、実用面からの合成プロセス制御に対する制限を定める。

Statistical Control of LSI CAD tools

Satoru FUJITA, Motohide OTSUBO, Masanobu WATANABE
C&C Research Laboratories, NEC Corporation

観測可能なデータ群の制限 制御システムの観測可能なデータを、論理合成システムからレポートされるリテラル数、面積などの抽象データに制限する。合成対象回路そのものの解析は行わない。

バックトラックの制限 推論に関するコストに比較し、コマンド実行に関するコストが大きいとする。従って、バックトラックなしの前向き推論によって制御する。

観測可能なデータ群の制限から図1のような制御モデルが導き出される。

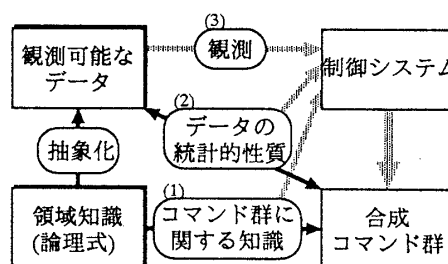


図 1: 制御問題の位置付け

制御システムは、(1) コマンド群の基本性質に関する知識(どのコマンドを、いつ実行すべきか)、(2) 過去の合成実績に基づく統計的知識(オプション、パラメータの効果)、(3) 現在の対象回路の観測データ、を知識として利用できる。本稿の制御方式では、(1)に基づく基本コマンド実行シーケンスの知識を持ち、選択肢が生じた場合に、(2)と(3)に基づいて統計的に選択し、実行を進める。以下、統計的予測について説明する。

3 統計的予測

入力論理式に対する詳細な情報が隠蔽されるため、制御システムは、観測可能なデータから、統計的に対象回路を推定する。制御システムの目的は利用者の要求に合った最終合成結果を得ることであるため、推定の対象は最終結果の目標特性量(面積、遅延など)で十分であ

る。従って統計予測は、現在の状態 s と、実行済みのコマンド列 h が与えられた時に、次のコマンド n を行った場合の最終目標量 $target$ の期待値の計算になる。

$$P = E_{target}(s, h, n) \quad (1)$$

状態 s は、複数のパラメータからなっており、現在の実験システムでは、目標特性量との相関係数が最も大きいパラメータを選択する。次のコマンド $n \in \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$ の選択には、上記期待値を最小(または最大)にするという基準を用いる。

例えば、入力論理式のリテラル数、キューブ数が与えられた段階 $s = (s_{literal}, s_{cube})$ で、対象回路の面積を最小にする ($target = area$) 合成を行う場合、まず、リテラル、キューブと回路の面積との相関関係を求め、相関の強いパラメータ(通常、リテラル)を選択し、回帰直線を用いて、次に実行するコマンドごとに最終合成回路の面積を予測し、それを最小とするコマンドを実行に移す。図2のような回帰直線の場合、 $s < s_1$ ならば、 n_1 のコマンドを実行し、 $s \geq s_1$ ならば、 n_2 のコマンドを実行する。

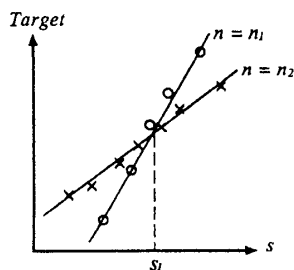


図2: 回帰分析に基づくコマンド選択

統計予測のために用いる基礎データとして、事前に、複数の論理回路に対して可能性のある実行パス全てに対するデータを蓄積する。また、実行と共に統計データを更新する。論理回路合成の指標の多くは、回路の大きさに対し n 乗の振舞いをするため、元データの対数をとったデータを統計処理する。

4 繰り返し最適化コマンドの制御

遅延最適化のようなコマンドの繰り返し実行によって目標特性量を最適化する場合は、上記の統計予測とは異

なる制御が必要になる。実験システムで用いた論理合成システムは、繰り返し最適化コマンドを1回実行する時の目標改善量をパラメータで指定できる仕様であったため、次のような制御を行った。

1. 目標特性量として、実行時間の制限 t を利用者にとらせてもらう。
2. コマンド実行1回にかかる時間の予測(または仮実行の実測値)から繰り返し可能回数を求める。
3. 目標特性量の改善可能量を統計的に予測し、コマンド1回実行あたりの改善量を決定、それにあったオプションを設定する。

遅延最適化における面積-遅延のトレードオフは、上記のような可能な限り細かい繰り返し最適化により、より優れたトレードオフ曲線を描くことを確認している。

5 おわりに

DAC86 のベンチマークテストを用いて論理合成システムを統計制御した実験では、標準実行シーケンスに対して、遅延最小化問題に関して平均 5% 程度の改善を示し、また、同じ遅延要求を満たした時の合成回路の面積比で、10% 程度の改善を示している。

類似した研究として、Magellan[1] では、レイアウトの改善を対象に、統計学習を用いた制御システムを提案している。Magellan では改善量に関してだけの統計予測という違いはあるが、CAD システムの実行時制御の重要性の提唱を行っている点で興味深い。

今後、多変量解析を含めた統計予測の改善、実データに基づくシステム評価を継続し、さらに、設計システムに対する汎用な制御方式へと拡張していく予定である。

参考文献

- [1] Gadiant, A. J., A Dynamic Approach to CAD Tool Control, CMUCAD-93-13, 1993.
- [2] Mitchell, T. M., LEAP: A Learning Apprentice for VLSI Design, Proceedings of the 9th IJCAI, pp.573-580, 1985.
- [3] Shavlik, J. W., Acquiring Recursive and Iterative Concepts with Explanation-Based Learning, Machine Learning, vol.5, pp.39-70, 1990.