

Title	タイミングスキュー調整特性に優れた高性能LSIのための高位合成手法
Author(s)	春田, 洋佑
Citation	
Issue Date	2012-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/10516">http://hdl.handle.net/10119/10516</a>
Rights	
Description	Supervisor:金子峰雄教授, 情報科学研究科, 修士

# タイミングスキュー調整特性に優れた 高性能 LSI のための高位合成手法

春田 洋佑 (0910050)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2012 年 2 月 6 日

キーワード: タイミングスキュー調整, 資源割り当て, PDE.

集積回路の益々の微細化と動作速度の向上に伴い、製造ばらつきによる回路内の信号伝搬遅延のばらつきが相対的に増大している。これまではタイミングマージンを十分確保することでこれに対処してきたが、過剰なタイミングマージンは回路の速度性能の低下を招く。近年、この問題に対して、チップ製造後の回路チューニングの手法が提案されている。本稿では特に製造後のタイミングスキュー調整に注目し、製造ばらつきに対して、高性能な集積回路を高い歩留まりで製造するための回路設計手法を検討、提案する。

製造後タイミングスキュー調整では、遅延量が調整できる素子 (PDE) をクロック分配経路にあらかじめ挿入しておき、製造後のチップ個別の信号遅延量に応じて、タイミングスキュー (クロック源から FF までの個別のクロック信号遅れ時間) を調整することで、回路を正常動作させる。

ここで、LSI 製造時に生じる回路中の遅延ばらつきに対して、スキューを調整することによって回路を正常動作させることができる確率をスキュー調整成功確率と呼ぶこととする。また、回路の構造 (信号伝搬経路) と動作のタイミング (信号伝搬のタイミング) に大きな影響を与える高位合成の中での最適設計 (スキュー調整成功確率最大化) を考える。

高位合成の中の資源割り当ては、実装すべき計算アルゴリズムとその演算スケジュールを入力とし、演算やデータの生存期間が競合しない条件のもとで、演算やデータを限られた演算器やレジスタに割り当てる問題であり、レフトエッジと呼ばれる代表的な手法がある。レフトエッジや、その後タイミングスキューを考慮して提案された minTc、color といった資源割り当て手法ではスキュー調整成功確率を直接考慮していないため、所望の最適解を得られるとは限らない。こうした手法に対して本研究では、スキュー調整成功確率を直接評価しながら資源割り当てを行う手法を検討する。原理的にはすべての資源割り当て解を列挙して、それぞれに対してスキュー調整成功確率を評価し、その中の最善の解を求めることにより最適解が得られる。しかし、すべての資源割り当て解を列挙して評価することは解空間が膨大で、計算時間的に現実的ではない。

第一の提案手法(マージ法)では、まずデータと演算をすべて異なるレジスタと演算器に割り当てた初期解を用意する。その後、生存期間競合の関係から共有可能なデータあるいは演算の2つの組み合わせを列挙し、それぞれについて実際に共有を行った際のスキュー調整成功確率を評価する。スキュー調整成功確率が最善の組み合わせを1つ選択し、資源割り当てを更新する。共有候補がなくなる、あるいは所望の資源量に達するまでこの操作を繰り返し、資源を削減する。このマージ法はその時々最善の資源共有を繰り返すグリーディー手法であり、資源数制約を保証できない、繰り返し共有の後半で評価が急激に悪化するなどの問題がある。

第二の手法として資源数制約を満たしながらスキュー調整成功確率を考慮する資源割り当て(並列レフトエッジ法)を提案する。

通常レフトエッジ法が常に1つの資源への割り当てを考えるのに対して、並列レフトエッジ法では指定された資源のすべてに対して、同時並行的に割り当てを行う。その手続きはスケジュールの第1実行ステップから順に、各実行ステップ  $s$  毎に、 $s$  からライフタイムが始まる演算、データを  $s$  においてアイドルな演算器、レジスタに割り当てを行うものである。1つの実行ステップ  $s$  での割り当ての決定にあたっては、まず候補の演算(データ)の1つ1つに対して、アイドルな演算器(レジスタ)の1つ1つに割り当てした際のスキュー調整成功確率を評価する。次いで、候補演算(データ)集合  $X_s$  とアイドル演算器(レジスタ)の集合  $Y_s$  を部集合とする完全2部グラフを構成し、演算-演算器(データ-レジスタ)辺に、対応する割り当てを行った際のスキュー調整成功確率を辺重みとして付加する。そうした上で、最小辺重み最大の  $X_s$  から  $Y_s$  へのマッチング  $M_s$  を計算し、 $M_s$  に含まれる辺に対応する演算の演算器への(データのレジスタへの)割り当てを採用する。

既存手法と提案手法について、回路合成実験を行ったところ、並列レフトエッジ法は通常レフトエッジ法に対して常に優れた解を得るものの、minTc、color手法に対しては、幾つかの例外を除いて、その解は劣るものであった。これは、並列レフトエッジ法の大域的最適解計算能力の低さが主因と考えられる。その一方で、並列レフトエッジ法がminTc、colorよりもすぐれた解を得ている例もあり、スキュー調整成功確率を正しく評価しながら設計を行うことの重要性が示された。

今後、スキュー調整成功確率評価の正しさを継承する、より優れた解探索手法の開発が望まれる。また、タイミングスキュー調整を考慮したスケジューリングや演算器の遅延の分布を把握するための統計的遅延解析の採用も今後の課題である。