

カスタム LSI 自動設計システムにおける回路部品再利用技術

9N-2

松本典子 津幡真太郎 西山 保

松下電器産業(株) 半導体研究センター

1.はじめに

複雑な機能を持ったシステムをワンチップ化するシステム・オン・シリコンの実現に向け、コア、設計ツールなどが整備されている。さらに、システムの差異化を追求し、LSIの大規模、高性能化に効率的に対応するためには、既設計回路の再利用が重要な課題となる。我々は、既設計回路とその設計手順を部品として格納し、柔軟に再利用設計するためのカスタム LSI 自動設計システムを開発している¹⁾。本システムでは、(1) 設計手順の再利用、(2) 回路部品間の接続関係の自動生成により、設計自動化を実現する。本稿では、このカスタム LSI 自動設計システムにおける回路部品再利用技術の特徴について報告する。

2.再利用によるカスタム LSI 設計自動化

ハードウェアの再利用は、比較的容易であるとされている。しかしながら、LSI 設計において既設計回路の再利用が困難である要因としては、

- (a) 同じ機能を表示するデータが設計のレベルに応じて複数存在し、設計ツールに必要な情報も多種多様
- (b) 設計対象が大規模化し、階層設計を行うため、設計対象のデータ構造が複雑

などがあげられる。これに対して、カスタム LSI 設計の自動化には、回路をオブジェクトとして捉え²⁾、回路が実現する機能と回路データを設計手順とともに管理する。また、回路部品は機能拡張に対する柔軟性を持ち、回路部品自身が再利用時の環境に適合してはまり込むような機構を実現しなければならない。

3.再利用設計における設計対象モデル

3.1 設計空間

ここでは、LSI 設計における次の3空間を考える。

- (1) HDL データ空間:HDS
- (2) ネットリストデータ空間:NDS
- (3) レイアウトデータ空間: LDS

上記の各空間上の各回路データは、その回路が実現する機能の表現である。また、これらの空間の他に回路の外部仕様を定義する概念的空間:ESS を考える。ESS

空間における回路表現 x_0 は、いくつかの機能単位にまとめられた入出力信号の関係を示したものであり、次のように定義する。

$$x_0 = [F_1 a_1, F_2 a_2, \dots, -G_1 b_1, -G_2 b_2, \dots]$$

ここで、 $(F_1 a_1)$ は、 a_1 がある機能 F_1 の受け手である入力ポートの集合であり、 $(-G_1 b_1)$ は、 b_1 がある機能 G_1 の送り手である出力ポートの集合である³⁾。回路部品は、回路オブジェクトの少なくとも1空間における表現と、その空間から設計の下位レベル空間への写像が一意に定義されているものとする。この写像を設計手順と呼ぶ。また、回路部品に対しては、ESS 空間から HDS、NDS、LDS 空間への写像も定義されているとする。例えば、図1の

$$fd : HDS \rightarrow NDS$$

は、論理合成ツールによる合成や、人手設計された論理回路図の流用などで定義できる。

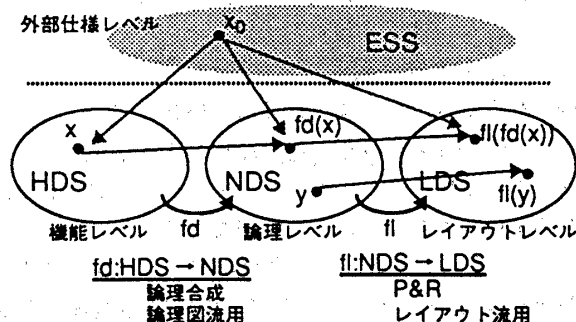


図1 再利用設計の設計対象モデル

3.2 回路部品オブジェクト

再利用の対象となる回路部品は、上記空間における表現であるデータと設計空間の間の写像である設計手順の組合せでライブラリに保存される。図2に回路部品の定義例を示す。また、データの階層関係を保持させた階層化部品としても格納できる。

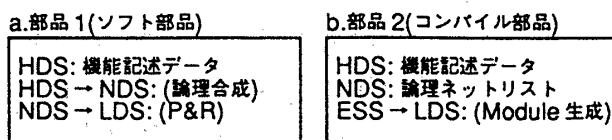


図2 回路部品の定義例

4. 回路部品間の合成

4.1 部品間接続の自動生成の概要

回路部品を再利用して所望の回路に組み上げる際に、構成要素である部品の機能情報(外部仕様)を考慮して、部品間の接続関係を自動生成する機能が有効となる。接続関係の自動生成すなわち回路部間の合成は、先のHDS空間で考えると、複数の部品の機能記述を呼び出すメインモジュールの生成に他ならない。LDS空間のデータは、HDS空間で生成される機能記述による接続関係から、論理合成ツールやP&Rツールなどの設計手順を経て、生成する。

4.2 機能記述の自動生成手法

4.2.1 部品間合成

回路部品は、ESS空間において、その外部仕様が明確に定義されている。この外部仕様を回路部品の機能情報として、機能記述の自動生成に用いる。各回路部品オブジェクトは図3のような構造を持つ³⁾。回路部品間においては、各々の入力機能情報と出力機能情報の照合を行い接続関係を抽出する。この合成処理は、外部仕様表現に基づき、例えば、外部仕様として、

$$x_0 = [Fa, -Gb]$$

$$y_0 = [Gc, -Kd]$$

を持つ部品に対して、合成部品の外部仕様が、

$$x_0 + y_0 = [Fa, Gc, -Gb, -Kd] = [Fa, -Kd]$$

となるような出力ポート集合bと入力ポート集合cの接続関係を生成することにより実現できる。

さらに、各入出力ポート集合毎に持つメソッドによって部品間接続の振舞い、例えば未接続時の処理などが規定される。部品間合成によって新しく生成された回路を部品ライブラリに登録する際には、接続関係の設計手順として、論理合成、P&Rを格納する。

4.2.2 機能記述生成の処理手順

以下に具体的な機能記述生成の処理手順を示す。

(1) 初期設定

- ・ 所望の回路Mの外部仕様と部品構成を入力する。

(2) 外部接続信号の決定

- ・ Mの入(出)力機能情報と部品の入(出)力機能情報

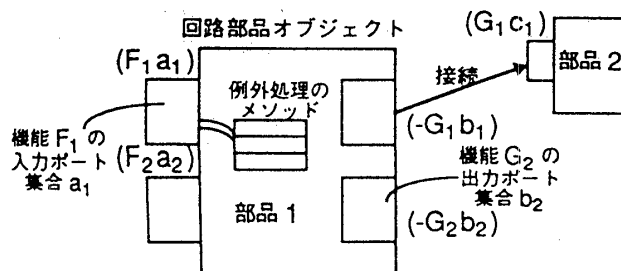


図3 回路部品オブジェクトの構造

との機能照合を行う。

(3) 内部接続信号の決定

- ・ 部品の入力機能情報と出力機能情報との機能照合を行う。この際、例えば図4のように、同じ部品の複数インスタンスに対しては、自動的に閉ループを構成するなど、機能を考慮した接続を行う。

(4) 例外処理

- ・ 入出力ポート集合の持つメソッドを実行する。
- ・ 未接続時の処理として、例えば、信号線のプルダウン/プルアップや対話的接続などを行う。
- ・ 入出力ポート集合のメソッドにタイミング最適化情報を持つ場合にはバスにつながる負荷に応じてメインモジュール側にバッファなどを追加する。

(5) 回路オブジェクトの生成

- ・ メインモジュールの機能記述を生成する。

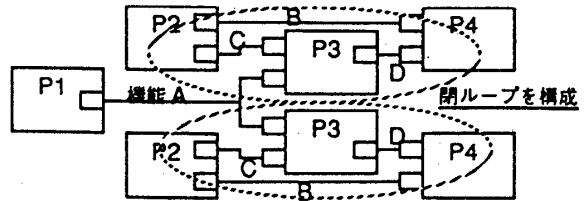


図4 複数の同じ機能部品に対する処理の例

5. 考察

仕様設計時に決定される概念的な外部仕様をモデル化し、有効に回路部品の再利用に用いるという点で、上述の部品間の合成手法は有効である。特に、部品の外部仕様が明確なチップの組み上げ工程に十分活用できる。さらに、既設計回路の機能を分析し、回路部品の機能情報を詳細化することによって、設計対象に適合した部品間の合成が実現できる。

6. おわりに

カスタムLSI自動設計システムの回路部品利用技術として、設計手順の保存/再利用の観点から回路部品を定義した。また、機能記述の自動生成により再利用設計を容易化する方法について述べた。今後は、(a) 既設計回路からの機能情報抽出による自動部品化 (b) 部品間を最適化する回路合成方式を実現していく予定である。

参考文献

- 1) 松本他:オブジェクト指向によるカスタムLSI設計自動化手法, 情処第45回全国大会 2K-2, 1992.
- 2) S.Heiler, et al.: An Object-Oriented Approach to Data Management: Why Design Databases Need it, DAC'87, pp.335-340, 1987.
- 3) 宮本他:オブジェクトのモジュール化による複合オブジェクトの生成, 情処研報 SE87-3, pp.21-30, 1992.