

# 論理設計問題における推論方式の検討 — 部品選択のための知識ベース構築方式 —

6K-5

齋藤 敏子\* 戸次 圭介\* 浜田 亘曼\* 滑川 正明\*\*

\* (株)日立製作所 日立研究所 \*\* (株)茨城日立情報サービス

## 1. はじめに

近年、LSI製造技術の進歩によりLSIの高集積化が進み、回路の規模は加速的に大きくなっていく。これに伴い、設計作業は複雑になり、工数削減のために、設計の自動化に対するニーズが非常に高くなっている。我々は、従来人手作業となっている論理設計を支援するシステムProLogicの開発を行っている。本システムは、レジスタ転送レベルの入力仕様から、最終的にはゲートレベルの詳細な論理回路を合成する。本稿では、本システムにおける論理設計問題に適した推論方式と、知識ベースの構成、特に、部品選択に適した知識ベースの構築方式について報告する。

## 2. 論理回路設計の手法

図1に示すVLSIの階層構造において、論理回路は要素構成情報に示すように、大きく2種類の回路に分類できる。1つは、ALUやスタック等のよう一度設計した回路部品については再利用可能な規則論理である。これには、ALUのように単独モジュールで1つのまとまった機能を持つものと、スタックのように複数のモジュール(この場合、カウンタとRAM)をつなぎ合わせて1つのまとまった機能を持つものがある。2つめは、前述した規則論理をつなぎ合わせる不規則論理である。この規則論理と不規則論理の組合せにより、VLSI論理回路が構成されている。例えばμプログラム順序器はレジスタやスタック等の規則論理と不規則論理から、スタックはRAMとカウンタと不規則論理から構成されている。

したがって、各階層において次の2つのステップを実行すれば論理回路を設計できることがわかる。

- ① 規則論理の設計
- ② 不規則論理の設計

以下では、この設計手順が効率よく実現できるプログラミング技法について述べる。

## 3. システム概要

図2はProLogicのシステム構成図である。ProLogicは、論理型言語Prologを用いて実現している。システム構築に際しては、オブジェクト指向型のプログラミング技法を導入し、規則論理を全てフレームによって表現している。フレームには、回路の仕様であるビット幅、遅延時間、動作等、種々の設計パラメータをスロットとして記述する。また、a\_part\_ofリンクを用いれば、論

理回路の階層構造を簡単に表現することができる。

ProLogicにおける規則論理の設計は、ライブラリに登録されている規則論理を、所定の制約条件を満足するように調整することによって実現できる。このとき、過去に設計したどの回路をライブラリの中から選択し、どのように調整するか、という設計戦略が回路の品質を決定するファクタとなる。そこで、以下ではこのような設計戦略の記述方式、及び推論方式について述べることにする。

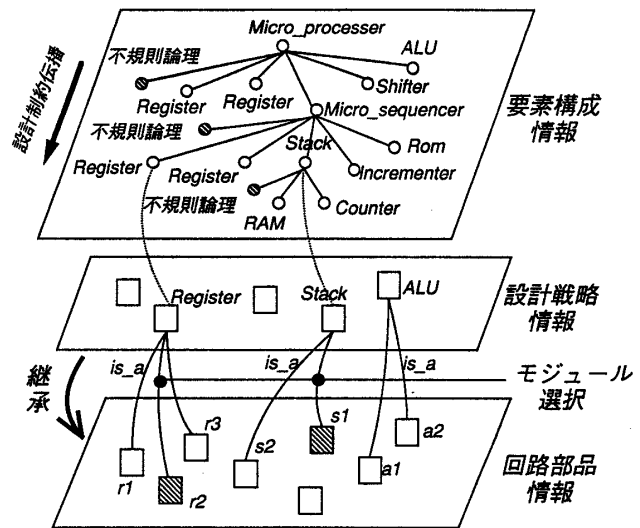


図1 情報の階層構造

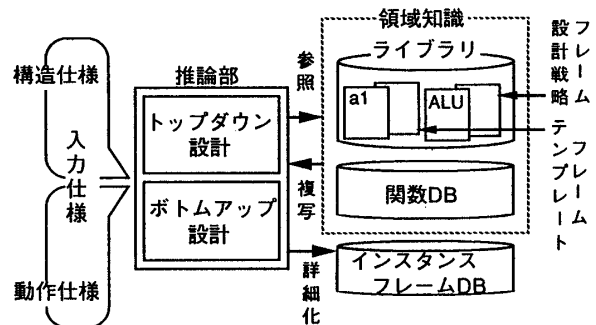


図2 システム構成

ProLogicでは、主要な規則論理がどのような構成になっているかという構造仕様と、回路の機能を示した動作仕様が入力仕様として与えられる。この仕様が与えられるとProLogicの推論部は、まず構造仕様をもとに適切な回路部品(テンプレートフレーム)を設計戦略に従って、ライブラリの中から選択し、設計パラメータを代入すること

A Study of Reasoning for Logic Design.  
- A Knowledge Representation of  
Component Selection Strategy -  
Toshiko.SAITO, Keisuke.BEKKI, Nobuhiro.HAMADA  
Hitachi Research Laboratory, HITACHI, Ltd.,  
Masaaki.NAMEKAWA  
Ibaraki Hitachi Information Service, Ltd.,

により具体化する。なお、具体化されたフレームには実際の回路の詳細な仕様や設計パラメータが記述されている。規則論理の設計は、回路部品の選択及び、設計制約の伝播処理であり、これらは上位の階層から順に詳細化していくトップダウン設計で実行することができる。ProLogicでは、規則論理を詳細化するために、次の2つの関数を付加手続きとして用意している。

- 1)仕様を満足する適切なテンプレートフレームを選択する、部品選択関数
- 2)設計制約条件を構成要素に段階的・階層的に伝播するトップダウン伝播関数

次に推論部は、規則論理をつなぎ合わせる不規則論理を設計する必要がある。正しく接続するためには、同じ階層にある全ての規則論理の詳細化が終了している必要がある。つまり、下の階層から順につなぎ合わせる、ボトムアップ的なアプローチをとらなければならない。この処理を実現するために次の関数を付加手続きとして用意している。

- 3)ボトムアップ詳細化関数

このように、推論部はトップダウン設計とボトムアップ設計の2つの部分からなり、トップダウン的に上位の階層から全ての規則論理を詳細化し、次にボトムアップ的に下位の階層から順に規則論理を接続するための全ての不規則論理を設計するという設計戦略をとる。もし、ある階層で設計が失敗したときには、それより上位の階層に戻り規則論理を選択し直す必要がある。

#### 4. 部品選択

ProLogicで扱う論理設計に固有な知識は、図1に示したように三層の構造で表現できる。この階層構造の知識は、回路の要素構成情報とテンプレートフレーム情報（過去に設計された回路部品事例）という、物理的な階層構造をなす知識に、部品を選択するための設計戦略情報を加えたものである。設計戦略情報は、テンプレートフレームとis\_aリンクによって結合され、それぞれ共通の特性を持つ部品ごとに（例えば、スタックやレジスタごとに）分類してフレームに記述することができる。そのため、継承の仕組みを利用すれば、上位の設計戦略情報を共有させることができる。例えば、a1、a2は上位フレームALUの性質を継承する。ALU1つをとってみても様々な種類のALUが存在するため、設計者に代わって適切な部品を自動選択するには、設計ノウハウをルールとして抽出し、記述しなくてはならない。そこで、ProLogicでは部品選択ルールとして図3に示すように次の2種類に区別してフレームに記述する。

- a)メタ戦略ルール
- b)戦略ルール

a)は評価関数を決定するためのルールである。これは、速度、チップサイズ、消費電力等の内での制約を最も優先して選択するかについて回路全体の入力仕様にに基づき決定する。評価関数が決定したら、b)の戦略ルールにしたがって実際に部品を選択する処理が実行される。もしこの時、条件を満足する部品が無いときは、次に優先順位の高い評価関数で再度選択を試みる。b)は選択の手続きを記述したルールである。具体的には、算術演

算子、集合演算子、最大・最少、述語論理等を実行する関数を付加手続きとして用意し、それらを組合せることによって実現することができる。このような階層的なルール記述方式は、設計者の選択思考とよく整合がとれており、以下の2つの効果が得られる。

- 1)ノウハウの蓄積が容易にできる
- 2)データベース管理が容易にできる

以上説明した選択機能により、回路の構成要素に対するテンプレートフレーム、つまり過去に用いた設計戦略を容易に記述することができるようになる。

```
alu :::
bit_length :: <0, B>
meta_strategy :: {
  1 delay_size_strategy(M);
  2 if { mget(system,strategy,delay_strategy); }
    then delay_strategy(M);
  3 if { mget(system,strategy,size_strategy); }
    then size_strategy(M);
  4 write('適切なALUがありません');
}
strategy ::
delay_size_strategy(M) : {
  module(M1,Parameter),
  sets(Mds,M1,{
    mget(M1,type,alu),
    mget(M1,delay,Delay),
    mget(system,clock_time,Clock),
    Delay < 0.7 * Clock
  }),
  minimum(Mds,chip_size,M)
}
delay_strategy(M) : {
  . . . . .
}
```

図3 選択ルール記述例

#### 5. おわりに

本稿では、論理回路の設計は、過去の設計事例に基づいて設計要素を具体化するトップダウン設計と、全体の仕様を解析して設計要素をつなぎ合わせるボトムアップ設計を組合せた設計方法となることを示した。

また、部品選択機能を付加手続きとして用意することにより、設計者は設計仕様を入力するときに、例えばALU等の規則論理にはどんな種類のものがあって、データベース内でどういった名前登録されているのか、どういった内部表現がなされているのか、といったデータベースの構成を知らなくても部品の指定を可能にすることができる。また、部品選択機能が無い場合と比較して、設計者の仕様入力作業の割合を低減することで、設計者の心理的負担を軽くすることができる。ユーザインタフェースの向上を図ることができる。

#### 参考文献

- 1) Brown.D.et al.:Knowledge and Control for Mechanical Design Expert Systems,IEEE Computer,vol.19-7,pp.92-100,1986
- 2) 戸次：論理回路設計エキスパートシステム構築に適した推論方式，情報処理学会論文誌，Vol.31, No.6,1990