

知識工学のLSI設計への適用状況と課題

高木茂

NTT電気通信研究所

1. まえがき

知識工学の研究領域は、初期の比較的小規模な診断問題から、大規模な設計問題へとひろがりつつある。一方、半導体製造技術の進歩により、VLSIの大規模化、応用分野の急激な拡大が進んでいる。これに伴う設計量の増大、VLSIの修正困難性に起因する設計の無誤謬性の確保のため、精力的に設計自動化の研究がなされてきた。しかし、設計者に匹敵する設計結果を得る自動設計プログラムを実現するには至っておらず、このブレークスルーを実現する技術として、知識工学に期待が集まりつつある。このような分野で知識工学がどのように適用され、なにを成したか、あるいは、なにを期待されているかを概観することは知識工学の研究にとっても有意義と思われる。

2. VLSI設計への知識工学の適用状況

2.1 VLSI設計分野の特徴

VLSIのような大規模システムを設計するには階層的設計手法の導入が必要である。階層の設定は、問題の大きさ、設計者によって異なるが、大まかには、命令セットレベル、レジスタトランスファレベル、詳細論理レベル、回路レベル、マスクレベル、等に分けられる。設計とは、基本的には、上位階層の仕様を順次詳細化、最適化する手続きとみなせるが、その最終展開品質（性能、コスト等）は詳細化、最適化の手法によって大きくかわる。LSIの構成、動作の原理は明確であるため、品質（性能、コスト等）を問わなければ、上位仕様に基づき、機能的に正しいLSIのマスクパターンを自動合成するプログラムを作成することは現在技術でも可能である。従来のDA研究は、設計品質の向上、計算機処理量削減の闘いと言えるが、いまだ、エキスパートの設計結果と同品質のLSIを自動合成できるレベルには達していない。現状は、設計者の設計作業を効率化する設計支援ツールと、多少の品質低下を許容し、ともかく短期間にLSIを自動合成するツール、の両方を、設計目的、生産量、開発期間の制限、等にてらして併用している。

2.2 設計知識定式化の状況

このような分野に、知識工学的手法を適用する際の第一の期待は、品質改善、計算時間短縮を実現する新しい定式化の提案により、全自動化を可能とすることに置かれると思われる。しかしながら、これら期待に定量的に答える、説得力ある報告の数はまだ少ない。それは、知識工学適用の研究の歴史が従来のDA研究の歴史（20年以上）に比較し浅い事、問題の大きさが従来の知識工学で扱っていた範囲を越えている事、両分野に精通している人数が少ない事、設計問題をどう定式化すればよいかが未解明である事、等のためであり、まだ模索段階といえる。

しかし、いくつかの、実用上有益な報告、或いは、将来の発展につながる興味深い研究が成されている。主な例について、その意義、狙いの観点から分類し、簡単にまとめる。

(1) システム構築の容易化、拡張性向上、マンマシンインタフェースの向上

AI分野で開発されたプログラミング技法をつかう事により、従来よりも拡張性、柔軟性に富み、使い易いシステムを、より容易に構築できるようにする。この例としては、①ハードウェア資源をオブジェクトとみなし、メッセージパッシング、メソッドインヘリタンスを利用しアニメーテッド・シミュレーションを実現する、②ゲート回路、PLA、RAM、機能回路のマスクパターンを自動生成するシリコンコンパイレー

ション技法をオブジェクト指向パラダイムの枠組みで整理する、③記号処理技術を利用し、記号シミュレーションを容易に実現する、④マルチウィンド方式の導入、各種設計支援ツールの統合により、設計者にとって使い易いインタフェースを実現する、等があげられよう。これらは、従来のDA技術において方法論が知られていたものの統合、改善とみなせる。

(2) きめ細かさの導入による、設計品質の改善

従来のアルゴリズム的なプログラムでは、なかなかコーディングしきれなかった、各種制約条件、あるいは、特定の場面だけに通用するうまい構成法、等を、設計ルールの形で網羅し、設計品質をあげるアプローチ。この例としては、①マクロセルのマスクパターン作成知識をトランジスタのつながり具合、方向等を詳しく解析し、配置・配線のルールとして定式化する、②従来の配線プログラムで結線できなかった部分に対し、既配線部分の修正を含むきめ細かな配線ルールを設ける、等があげられよう。

(3) 視点の高度化による設計品質、計算時間の改善

大局的設計法、構造化設計法、等、設計者のあたまのなかに存在することは予想されるものの、従来コーディングされなかった抽象的な知識を明確にし、設計品質、計算時間の改善をはかる研究。例としては、上位仕様を展開する際に、下位構造物の概略構造（テンプレート）を想定し、それを目標に詳細化する手法等があげられよう。

(4) 新機能の追求

従来のDA技術では、未検討、あるいは概念の存在しなかった機能を提案、追求する研究。例としては、①設計事例を記憶しておき、これらの組合せ、変更により設計を行う（事例の再利用、再設計）、②設計者の設計操作例からその操作を一般化したルールを自動獲得する（learning apprentice）、等があげられる。

2. 3 知識表現システムの使用状況

エキスパートシステム作成用知識表現言語としては、単一表現パラダイムを使用したもの（PROLOG、OPS、オブジェクト指向、等）、複合パラダイム（フレーム+手続き+ルール+PROLOG---）を使用したもの、また、従来のDAシステムとリンクをとったもの、など様々である。これは、そのシステムが解こうとしている問題の規模、範囲、性質、あるいは、研究の目的、段階（言語の可能性を追求する狙い、基礎段階、実用段階）が様々なためと思われる。

3. 研究課題

中、短期的には、実務設計者、或いは、DAシステム構築者の間で2.2節の(1)、(2)のアプローチによる知識が蓄積され、利用されるものと思われる。この段階では、大規模化、高速処理系、システムのポータビリティ、設計データの標準インタフェース、既存ソフトウェア資産とのリンク、等の実用化の課題がある。

一方、知識工学研究者かDA研究者の先導的役割をになうもの、あるいは知識、推論過程の明確化を推進するものとして、(3)、(4)のアプローチが期待される。すなわち、大規模設計問題を扱うエキスパートシステム技術として、以下の課題が考えられる。

- (1) 論理（動作）仕様として明記する以前のあいまいな設計思考過程の明確化
- (2) 品質、処理時間を向上させる設計手法の新定式化法
- (3) 事例の活用、部分修正、仕様変更にたいする対処法
- (4) 設計階層にまたがる情報の管理、活用法
- (5) 設計戦略、設計計画等、設計のプロセス、設計のフィードバックを制御するメカニズム
- (6) 設計操作知識、設計過程制御知識の獲得
- (7) これらを総合的に支援する高度、大規模な知識表現、推論環境