

[チュートリアル講演]

システムレベル設計の概説 —システム設計で見えるもの、見えないもの—

福井 正博[†]

[†]立命館大学 理工学部 電子情報デザイン学科 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: [†]mfukui@se.ritsumeiji.ac.jp

あらまし 設計の効率化が求められ、設計抽象度の向上が求められている。Cベース設計が非常に注目を集めている。本発表では、システム設計が必要となる背景と、システムレベル設計化することで見えにくくなる問題点を明らかにする。最後に我々のグループで取り組もうとしているパワーコンシャスシステムデザインプロジェクトの概要について紹介する。

キーワード システムレベル設計、性能推定、Cベース設計、電力考慮システム設計

A Cutting Edge of System Level Design —What to be seen and what else not to be seen in system level design—

Masahiro FUKUI[†]

[†] Department of VLSI System Design, Ritsumeikan University 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: [†]mfukui@se.ritsumeiji.ac.jp

Abstract Due to the design effort crisis, upper level abstraction of VLSI design is highly required. C base design is becoming popular. We summarize the background of these trend why system design is becoming highly required. Then, we discuss what not to be seen in system level design, summarize estimation technologies for system level design. We also introduce our plans for power conscious system design project.

Keyword System level design, Estimation, C base design, Power conscious system design

1. はじめに

電子システムの大規模化と共に、設計の大幅な効率化が求められている。設計効率化のためには、設計抽象度の高位化、すなわち、システム仕様レベルでの設計が求められるようになってきた。もともとシステムの設計はUMLやCなどの高級言語で主にシミュレーションによる動作確認のために行われていた。しかし、ここ数年、合成可能なシステム記述としてSpecCやSystemCなどのようなCベース設計が非常に注目を集めている。

Cベース言語の最大の特徴は、Cを使い慣れたシステム設計者が違和感なく記述できる点と、複数の抽象度レベルに対応しており、同じ言語で抽象度の広い範囲での設計の具体化が可能であるという点である。また、シミュレーションだけでなく合成系が対応してきたのが大きな進歩であるといえる。

一方では、65nm、45nmと微細化の時代が進むにつれ、設計困難度が飛躍的に増大している。ま

ず、製造ばらつきに関しては、メーカーによって異なるが、光の波長の何分の1かのパターンを形成する必要があるため、製造ばらつきが増大している。製造を考慮した設計の重要性が叫ばれている。

また、システムの高速度・大規模化に伴って消費電力は大幅な増加傾向にある。同時に電源電圧は下がってきているため、電源のノイズ許容率が低下している。そのため、電源設計が非常に困難になっている。電源が不安定になるということは、遅延時間のばらつきが増大することを意味する。

これら要因等により、45nmの時代では、まったく同じサイズで設計されたトランジスタが場所の違いで3~4倍の開きが出ると予想されている。

今後はこのような動作の不確かさを伴う製造技術の上に低電力・高性能のシステムを構築していく必要がある。このような観点から、システム設計レベルで、それが詳細化設計されたときの性能、消費電力の予想技術が重要になる。しかも、

設計の詳細化を行う前のシステム段階こそ、性能や消費電力の最適化に対して大きなインパクトを与えることができるため、高精度な性能・消費電力予想技術を使ったシステムの最適化技術が重要となってくる。

本発表では、システム設計が必要となる背景について説明する。次に、システムレベル設計化することで詳細設計が見えにくくなる問題点を明らかにし、それを補うための性能推定技術に関する動向を説明する。また我々のグループで取り組もうとしているパワーコンシャスシステムデザインプロジェクトについてもその概要を紹介する。

2. システム設計の流れ

システム設計フロー

システム仕様設計段階では、主にシステムの主要な機能と通信のプロトコルに関しての設計が行われる。Gajskiらはシステムレベルにおける動作の記述をプロセスとチャンネルという概念を用いて整理した。またそれぞれの動作に関しては、スーパーFSMなどを用いてわかりやすく表現することに成功している。(11)後にSystemCのコンソシアムが立ち上がり、システム仕様レベルからRTLまでの設計抽象度を扱う実用的な言語システムが開発されるが、(12)システムレベルの動作記述に関しては、(11)に負うところが大きいと記述されている。

上述のシステムの動作レベルでは、システムを動作モジュールの機能と通信のプロトコルで表現されているが、それぞれの機能の実現方法に関しては制約が設けられていない。

この段階から、システムをハード/ソフトへの分割が行われ、その後、ハード/ソフトそれぞれにおいて設計の具体化が行われる。ソフトに関してはISSモデルで表現されたプロセッサモデル上での動作シーケンスとして具体化される。ハードウェアに関しては、動作レベルのハードウェア記述からスタートして、IPへのマッピングや高位合成、すなわち、動作機能だけが表現された動作モジュールを具体的なハードウェアモデルへの割り当てとタイミングに関するスケジューリングが行われる。

3. 性能推定プロジェクトの概況

性能推定に関する取り組み

ドイツのドルツムンド大学、ベルギーのIMEC研究所等(3-4)でソフト動作時のメモリアクセスの頻度、キャッシュへのヒット率などに着目した電力解析システム等が研究されている。システムの消費電力のほと

んどは、クロック系とメモリ、データパスの3つのモジュールで消費されるが、そのうちメモリの消費電力に着目したことで、大きな電力削減が期待できる。また、オルデンバーグ大学等(5)ではフロアプランと高位合成の技術を組み合わせた性能推定技術に関する研究が行われている。こちらは、動作レベルとRTLのギャップを埋める技術として期待できる。

またより詳細なRTLやアーキテクチャレベルにおける電力・性能推定(6-10)に関しては、多数の研究成果が報告されている。

今後の推定技術に関する研究課題は、物理レベルの不確かさを補い、かつ、システムレベルでの最適化に使えるような高精度な性能・消費電力のモデルの開発と、それらのモデルがシステムレベルの最適化で使えるような解析システムの開発である。特にクロック系やデータパス系とシステム設計のギャップを埋める技術が重要と思える。

我々の電力考慮システム設計PJの紹介

携帯端末等に代表される電子機器の急激な進歩と高集積化に伴う消費電力の増大に対抗するため、本研究では、システム仕様設計レベルにおける消費電力の解析手法を提供することを目的にする。一般に、システム仕様レベルでの電力削減は効果が大きい反面、個々の詳細設計がまだ行われていないので高精度化が課題である。本研究では、図1に示すように各機能部品の電力消費をオブジェクト指向言語によりモデル化する機能と、RTL(機能回路の割付とスケジューリング)の最適化結果を精度よく推定する機能を備える。

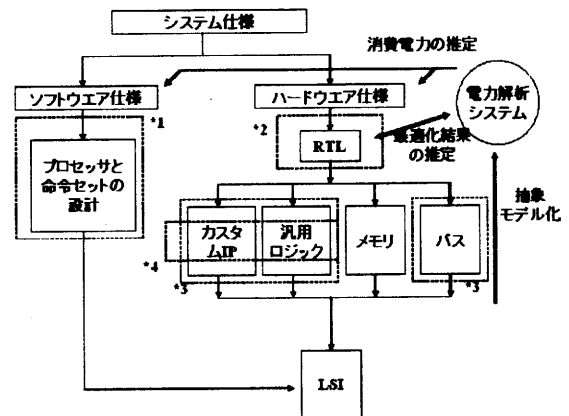


図1 電力解析システムの一例

このシステムは以下の特徴を備える。

I. 機能部品それぞれの詳細設計情報を高精度かつ高速計算可能な形でモデル化

電源電圧、寄生容量、入力信号の特徴を捉え、各々の特徴毎に電力を計算するので高精度である。各機能回路の特徴ごとに高位言語でモデル化するので、高速に電力計算ができる。各モデルはオブジェクト指向型言語 C++ で記述するので、特徴ごとの処理を記述しやすく、回路構成や使用条件の変更に対して対応が容易である。

II. RTL 設計の最適化結果を高精度に推定する機能を提供

RTL(ハードウェアの具体的な割付けやスケジューリング)の実現方法を探索する機能を有し、電力が多く消費される場所の特定や別構成への置き換えなどを試行する。本研究では、バスやメモリの構成の組み合わせを容易に変更できるモデルを用い、それぞれの構成に対して電力を推定できる仕組みを構築する。

III. ソフトウェア設計に対して電力モデルを提供

ソフトウェアはプロセッサ上の処理として表現できるが、プロセッサのハードウェア部分を上記モデルで記述し、それを用いて、ソフトウェア実行時の電力消費を推定する。

本研究の目標成果は以下に示すようなものである。電力計算に要する時間を、論理回路シミュレーションを用いた場合に比較して 1000 倍に高速化する。電力推定の精度として実用に耐えるレベル(誤差 10%以下、従来の 1/10)の手段を提供する。設計フロー上流のシステム仕様設計レベルでの高精度な電力最適化が可能となるので、今後市場的規模の更なる拡大が期待されるシステム LSI の大幅な電力削減(約 70%程度)が図れる。消費電力を考慮したソフトウェア設計を可能とするので、さらに電力を半減することが期待できる。システムレベルでの推定精度が高まるので、設計手戻りが無くなり、設計期間を大幅短縮できる。

本システムに関してはまだ具体化が進んでおらず、関係各位のご指導、ご助言を受けながら実用的なシステムを目指していきたいと考える。

5. まとめと今後の動向

今後のシステム設計においては、システム L S I の微細化動向を良く考えた上で、性能を十分引き出す必要がある。

一方では、MEMS センサーなども含めた SiP におけるシステム統合などが進められる傾向にある。ディジ

タルの回路のみならず、アナログや周辺のセンサー、メカニカルな装置なども含めたモデル化とシステム検証、性能推定も重要となっていくと思われる。

最後に大阪大学今井教授ならびに研究室の皆様には ASIP Meister 関連の資料提供および有益な議論に対して感謝します。また、本稿で紹介した電力考慮システム設計に関する研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究(C)(2)「大規模電子システム段階における高精度消費電力解析手法の研究」(課題番号 16560316)によって進めるものです。

文 献

- (1) K. Ueda, K. Sakanushi, Y. Takeuchi, and M. Imai, "Architecture-level performance Estimation for IP-Based Embedded Systems," Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe conference and Exhibition, Feb. 2004.
- (2) G. De Michel, "Designing robust systems with uncertain information," システム設計に関するセミナー報告(大阪大学), Apr. 2004.
- (3) R. Lauwereins, "System Level Design Technology for Realizing an Ambient Intelligent Environment," Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference, pp.1-3, Jan. 2004.
- (4) P. Marwedel, L. Wehmeyer, M. Verma, S. Steinke, U. Helming, "Fast, predictable and low energy memory references through architecture-aware compilation," Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference, pp.4-11, Jan. 2004.
- (5) W. Nebel, "Predictable design of low power systems by pre-implementation estimation and optimization,"
- (6) S. Gupta and F. N. Najm, "Power modeling for high level power estimation," IEEE Transactions on VLSI, vol.8, no.1, pp.18-29, February 2000.
- (7) 小川修, 高橋美和夏, 水野雅信, "ハードウェア/ソフトウェア分割時における消費電力解析手法," DA シンポジウム 2000 論文集, 2000 年 7 月.
- (8) 芝原真一, 武内良典, 今井正治, 北嶋暁, 木村勉, 村岡道明, "データタイプを考慮した ASIP 消費電力見積もり手法の提案," システム LSI 設計技術 95-2, 2000 年 2 月.
- (9) Paul Landman, "High-Level Power Estimation," Int. Symp. Low Power Electronics and Design, pp. 29-35, Aug. 1996.
- (10) 上田恭子, 坂主佳史, 武内良典, 今井正治, "データ流量解析に基づく組み込みシステム性能見積もり手法," 第 16 回 回路とシステム(軽井沢)ワークショップ, 2003 年 4 月.
- (11) D. Gajski, J. Zhu, R. Domer, A. Gerstlauer, S. Zhao, "SpecC: Specification Language and Methodology," Kluwer Academic Publishers, 2000.
- (12) T. Grotker, S. Liao, G. martin, and S. Swan, "System Design with System C," Kluwer Academic Publishers, 2002.