



ソフトウェア制御による システムLSIの低消費 エネルギー化と微細化への対応

ナノスケール時代のシステムLSI設計手法

石原 亨

九州大学システムLSI研究センター 助教授

研究の背景

今日の高度情報化社会は図1に示す通り、多くのコンピュータシステムによって支えられています。コンピュータシステムの頭脳の役割を果たしているのがシステムLSIです。システムLSIとは多数の機能を1個の半導体チップ上に集積した超多機能集積回路です。システムLSIチップは典型的には10mW～10W程度の電力を消費します。仮に、日本人が1人あたり1つのシステムLSIチップを使用しているとすると、単純計算では日本だけで最大130万キロワットにも及ぶ電力を消費することになります。これは、石油火力発電所約3基分に相当する電力です。今後も今日の高度情報化社会を発展させるためには、コンピュータシステムをより低いエネルギーで稼働させる技術が鍵となります。一方で半導体集積回路の微細化と高集積化に伴い、ハードウェア設計は複雑化し、ハードウェアの設計コスト、マスクコスト、検証コスト、およびテストコストが急激に上昇しています。製品ごとにハードウェアをスクラッチから作り直す従来のアプローチでは半導体ビジネスで収益を得ることが難しくなっています。特に携帯電話やデジタルカメラなどのデジタル情報家電は製品サイクルが短く、仕様変更やバグフィックスおよびバージョン

アップが頻繁に行われるため、これらの状況に柔軟かつ低コストで対応できる方法としてソフトウェアベースのアプローチが高い注目を集めています。本研究の特徴は、主にソフトウェアの工夫により、システムLSIの高集積化に伴う諸問題の解決に取り組んでいる点です。

研究の成果

今日のコンピュータシステムは、プログラムに従って演算処理を行うハードウェアとそのハードウェアを制御するソフトウェアによって構成されています。本研究の特徴は、主にソフトウェアの工夫によりシステムLSIの低消費エネルギー化を実現すると共に、半導体デバイスの微細化に伴う特性ばらつきの問題に取り組んだ点です。主な研究成果は次の2つです。

下記①に関連した研究成果として、プロセッサの電源電圧をソフトウェアから制御することを可能にした可変電源電圧プロセッサ^[1]を考案しました。また、このプロセッサの消費エネルギーを最小にする動作電圧の設定方法を定理としてまとめ、その証明を行いました^[1]。さらに、可変電源電圧プロセッサをリアルタイムOS^{*1}から制御し、消費エネルギーを削減するタスクスケジューリング手法を考案しました^[2]。計算負荷に応じてプロセッサの電源電圧を柔軟に調整することによって30%～60%のエネルギー削減が達成されることを確認しました。小型のオンチップメモリに、使用頻度の高い関数(プログラムの一部)を配置することによって、プロセッサの消費エネルギーを削減する方法を提案しました^[3]。この小型のメモリの電源電圧

1

ソフトウェア制御によるシステムLSIの
低消費エネルギー化を実現する
プロセッサアーキテクチャとソフトウェア制御技術の考案

2

システムLSIチップ(ハードウェア)の製造後に
ソフトウェアを変更することによって
デバイス特性ばらつきの影響を軽減する技術の考案



図1 システムLSIとその応用分野

とバックバイアス^{※2}を適切に設定する方法も考案しました。ハードウェアには大幅な変更を加える必要が無く、用途に合わせてプログラム変更と小型メモリの電圧変更を行うことでプロセッサの消費エネルギーを削減できる点が特徴です。また、オンチップメモリのバックバイアスを部分的にかつ実行時に変更することによりメモリの平均アクセス時間をほとんど増加させることなくメモリのリーク電流を削減する方法を提案しました^[4]。バックバイアスの変更は、ソフトウェアが行います。アクセス頻度の低いメモリブロックで消費されるリーク電流を大幅に削減できることを確認しました。

左記^②に関連した研究成果として、メ

モリセルの故障や遅延時間のばらつきを考慮して、アプリケーションプログラムの目的コードを生成する手法を考案しました^[5]。また、オンチップメモリの異常リーク電流を抑制するソフトウェア技術を考案しました^[6]。デバイス特性のばらつきをモデル化する研究は数多く行われていますが、チップ設計段階で遅延時間やリーク電流のばらつきを精度良く見積もることは非常に困難です。本手法は、チップ製造後にメモリブロックのアクセス遅延時間やリーク電流を計測し、計測結果に基づいてアプリケーションプログラムの目的コードを生成することにより、デバイス特性のばらつきによる負の影響を無視できるほど小さくすることを可能にしました。

むすび

システムLSIの高性能化に伴う消費エネルギーや半導体デバイスの微細化に伴うデバイス特性のばらつきをソフトウェアによって軽減する我々の取り組みを紹介しました。今後は、デバイスの経年変化による故障およびリーク電流や信号遅延の増大をソフトウェアによって診断し補正する技術の研究に取り組む予定です。システムLSIはハードウェアだけでなくその上で動作するソフトウェアを含めたシステムとして考えることが重要です。ナノスケール時代に必要不可欠であり、今後の科学・産業分野への大きな貢献が期待される研究と考えています。

補足説明

※1 リアルタイムOS

プロセッサ上で実行されるプログラムをリアルタイムに処理することを重視し、そのための機能を実装したOS(基本ソフトウェア)のこと。産業機械を制御するコンピュータなどでは、応答時間が一定の範囲内にあることが要求されるため、OSにもリアルタイム性を実現するための様々な機構が必要とされる。そのため、リアルタイムOSは、複数の処理要求が同時に発生した場合でも目的の時間内に処理を完了させるための機構を備えている。自動車のエンジン制御装置や工作機械の制御装置などの組み込み分野で利用される。

※2 バックバイアス

トランジスタのバックゲートに印加するバイアス電圧で、逆方向にかけるとトランジスタのチャネル部に電流が流れにくくなり、リーク電流は減少するが、トランジスタの遅延は増大する。

References (参考文献)

- [1] T.Ishihara, H.Yasuura, "Variable Voltage Scheduling Problem for Dynamically Variable Voltage Processors", Proc. of International Symposium on Low Power Electronics and Design, pp.197-202 (1998)
- [2] T.Okuma, H.Yasuura, T.Ishihara, "Software Energy Reduction Techniques for Variable-Voltage Processors", IEEE Design & Test of Computers, vol.18, no.2, pp.31-41 (2001)
- [3] T.Ishihara, K.Asada, "A System Level Optimization Technique for Application Specific Low Power Memories", IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E84-A, no.11, pp.2755-2761 (2001)
- [4] 石原亨, 浅田邦博 "オンチップメモリの高速度化と低スタンバイリークを実現する閾値電圧の静的スケジューリング手法" 情報処理学会論文誌 第44巻第5号 pp.1284-1291 (2003)
- [5] T.Ishihara, F.Fallah, "A Cache-Defect-Aware Code Placement Algorithm for Improving the Performance of Processors", Proc. of International Conference on Computer Aided Design, pp.995-1001 (2005)
- [6] M.Goudarzi, T.Ishihara, H.Yasuura, "A Software Technique to Improve Yield of Processor Chips in Presence of Ultra-Leaky SRAM Cells Caused by Process Variation", Proc. of Asia and South Pacific Design Automation Conference, pp.878-883 (2007)