

# 演算器パワーゲーティングにおける 損益分岐時間の動的変化対応手法に関する研究

所属： 高性能コンピューティング学講座 本多・三輪研究室

著者： 1453001 石川 雄介

主任指導教員： 本多 弘樹

## 1 研究背景・目的

プロセッサは半導体プロセス長の微細化によって動的電力を抑えつつ動作速度を高速化することで高性能化を達成してきた。しかし微細化により、電源供給をしている間定常的に発生するリーク電力は指数的に増加してしまう。近年ではリーク電力はプロセッサの消費電力の中で大きな割合を占めるようになってきているためリーク電力を減らすことが喫緊の課題である。

LSI のリーク電力を削減する手法の 1 つとしてパワーゲーティング (PG) が知られている。PG は使用されていないアイドル状態の回路ブロックの電源供給を遮断しスリープすることでリーク電力を削減する。しかし PG ではスリープにともなう回路の充放電によってエネルギーオーバーヘッドが生じてしまう (図 1)。したがって PG により電力を削減するためには、エネルギーオーバーヘッドと PG による削減エネルギーが等しくなる BreakEven Time (BET) より長い時間回路をスリープさせなければならない。

BET を決定する要素のリーク電力はチップ設計時に決まる半導体プロセス長や回路の規模などだけでなく、回路の動作状況に応じて動的にも変化することが知られている。動的要因の 1 つである温度による BET の変化に対しては既に、アイドルサイクルと比較を行う BET の見積もり精度を向上させる PG 手法 [2] が考案されている。他にも前回のアイドルが BET より長かったかを履歴として保持し、その情報を用いスリープの制御を行う手法において、比較に用いる BET を温度により動的に変化させる手法 [3] が提案されている。

他にも PG 対象となる回路内のトランジスタの状態によってリーク電力が大きく変化することが知られている。トランジスタの状態によって大きくリーク電力が変動することは知られており、アイドル状態の回路に対して PG の代わりにリーク電力が低くなる入力値を与えることで電力を削減する Input Vector Control (IVC) 手法 [1] も知られている。そのため BET を見積もる上でも重要な観点になるが、トランジスタの状態により PG 手法を改善する手法は存在していない。

本研究ではトランジスタの状態によって BET が変動しても精度よく見積もる手法を提案することを目的とする。

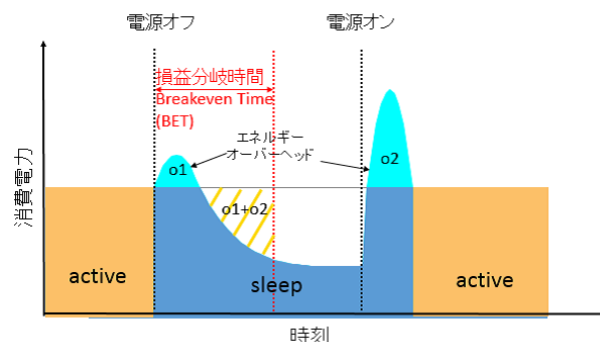


図 1: パワーゲーティングのオーバーヘッド

## 2 Geyser プロセッサ

本研究では PG による電力削減を積極的に用いる Geyser プロセッサを用いる。Geyser は演算器を PG 対象とする MIPS プロセッサである。PG 対象が組み合わせ回路であるためトランジスタのオンオフの状態は演算器への入力にのみ依存する。具体的には演算器が計算する  $32\text{bit} \times 2$  の入力データ、計算内容を決める数 bit の制御情報、及びスリープ信号のみでトランジスタの状態が決定される。

Geyser では通常は演算実行後に演算を行ったユニットをスリープさせるが、命令にスリープ制御情報を付与することで演算実行後もスリープさせないことが可能である。これにより演算器のアイドル時間の見積もりが行いやすい、プログラムのコンパイル時に、典型的に見積もった BET より命令で使用した演算器のアイドル時間が長くなると予測した命令のみをスリープさせることができる。しかしコンパイラ単体による静的なスリープ制御では動的に変化する BET を見積もることが困難なため、いくつかの非典型的な BET に対してスリープ制御を行うコードも予め用意し、実行時にコードを切り替えることで温度による BET の動的変化に対応する手法 [2] が提案されている。また、この手法ではプロセス切替のタイミングでコードを切り替えるため、コードの切り替えの時間的オーバーヘッドは少ない。

## 3 進捗状況

これまで研究に必要な省電力化に関する知識を PG に限定せずに習得した。また、手法を提案するためには BET に強い相関を持つ入力データの要因が存在すること、演算

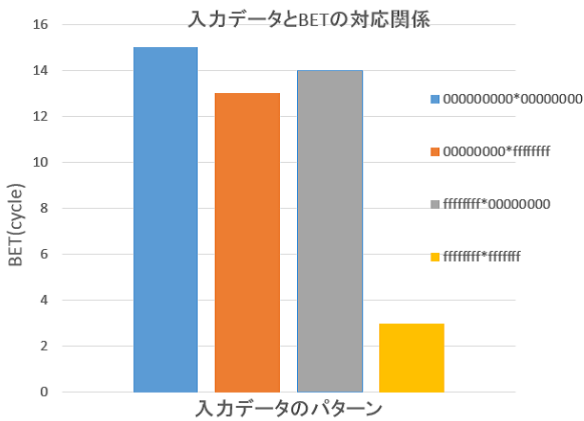


図 2: 乗算器における入力データと BET の対応関係

器の入力に偏りがあり、入力データを考慮することで PG のポリシーが変動する程度のアイドル期間が多く存在することの両方が確認できなければならないため、それらの情報を取得するために環境を整えた。

### 3.1 入力データと BET の対応の調査

入力データと BET の相関を調べるために Geysers の BET 測定環境を整えた。BET 測定では演算とアイドルを繰り返すコードにおいて、アイドル間隔を変化させながら、演算後スリープさせた場合とスリープさせずに起動し続けた場合の消費電力の比較を行う。このとき 2 つのスリープポリシーの消費電力の大小関係が変わるアイドル間隔が BET となる。現在取得できている乗算器において mult 命令を実行したときの入力データ 4 パターンと BET の対応関係を図 2 に示す。調査は室温 20 度にして行っており、Geysers チップは発熱が少ないため室温を一定に保てばほぼ同じ結果が得られることを確認している。

この結果から 4 サイクルから 15 サイクルまでの間で回路の入力パターンによって、BET の変動が存在することが確認できた。現在用いられている入力データ 4 パターンに全入力データの中で BET が極値となる入力データが含まれているとは限らないため、BET の変動幅は実験する入力データを増やすことで更に広がる可能性がある。今回の実験は入力データによる BET の変動の存在確認だけを行っただけであり、入力データの何が BET の変動に起因しているのかが不明なため、今後の検証で BET に影響を与える入力データの要因を調査していく。また、他の演算器においても入力データによって BET がどの程度変動するか確認を行う。

今回の実験では BET の変動は少なかったが、チップの製造ばらつきや温度によっても BET の変動幅が変わるため、今後は入力データだけでなく他の BET を変動させる要素についても実験を増やしていき BET がどの程度変動するか検証を行っていく。

### 3.2 プログラムの入力データの変動の調査

入力データの偏りを評価できるように MIPS シミュレータ SimMips[4] に変更を加え、Geysers で使用するベンチ

マークの実行時の入力データの変動を記録できるようにした。ログには手法を提案する上で必要になる可能性の高い、使用した演算器、命令のアドレス、演算器への入力データ、使用した演算器が次に使用されるまでのサイクルなどを出力する。

これらの情報を、入力データと BET の対応と合わせることで、ある命令において入力データを考慮したときの平均 BET を求めることが可能となる。また、その命令のアイドルサイクルの分布を調べることで、入力データにより BET の見積もりを修正することにより命令におけるスリープ制御の精度がどの程度改善されるかも知ることが可能となる。

## 4 まとめと今後の方針

入力データにより BET が変化を考慮したスリープ制御を行うことが可能か判断するために環境を構築し入力データと BET の関係と、プログラム実行時の入力データの変動情報の取得を行っている。また、乗算器においては入力データと BET の対応関係は不明だが、その変動を確認できた。

今後の方針は、Geysers に備わる各演算器において、温度やチップの製造ばらつきによる BET の変動も確かめつつ、入力データのパターンを増やすことで BET に強い相関を持つ入力データの要因を発見し、その要因がプログラム実行時に局所性を持つか調査し PG 手法の改善の余地があるか調査した上で改善できる可能性があれば手法の提案を行う。

## 参考文献

- [1] Lin Yuan , Gang Qu . A combined gate replacement and input vector control approach for leakage current reduction IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, Volume:14 , Issue: 2 , Feb 2006, pp.173-182
- [2] 小林 弘明, 茂木 勇, 木村 一樹, 他. "OS における細粒度パワーゲーティング向けオブジェクトコードの実行時管理機構の研究", 情報処理学会研究報告. 2011-OS-117(1), pp.1-8, 2011-04-06
- [3] 宇佐美 公良, 橋田 達徳 "細粒度パワーゲーティングにおける損益分岐時間の温度依存性モデルと温度適応型制御", 電子情報通信学会技術研究報告. VLD, VLSI 設計技術 110(36), pp.73-78, 2010-05-12
- [4] 東京工業大学 大学院情報理工学研究科 吉瀬研究室 <http://www.arch.cs.titech.ac.jp/SimMips/>