



ベクトルプロセッサの消費エネルギー推定

情報科学研究科 情報基礎科学専攻
小林・佐藤研究室 橋口 航弥

背景

- **スーパーコンピュータの性能向上と消費電力の課題**
- 近年、半導体の進化と共に、急速にスーパーコンピュータの性能向上している半面、消費電力が増大
- 現在のスーパーコンピュータの電力は大きいものだと40MW程度（小型発電所一基が必要）
- 消費電力が大きな制約となり、設計時からの予測が重要
- ➔ 将来システムの設計のためには消費電力の予測が必要

目的・アプローチ

- **目的**
スーパーコンピュータの消費電力に大きく関係するメモリシステムの消費エネルギーを推定
- **アプローチ**
1. スーパーコンピュータの1例であるベクトルプロセッサのメモリシステムの消費電力を実測
2. 測定値からメモリシステムと各演算のエネルギーを推定
3. 2とベクトルプロセッサ全体の消費電力モデルに基づき予測した消費電力を検証

ベクトルプロセッサの処理と消費電力

- 複数のベクトルコア(Vcore)を持ち、ベクトル命令を実行
 - 主なベクトル演算命令に加算(add),乗算(mul),加乗算(mla)
- キャッシュメモリ(LLC)・メインメモリ(HBM)と浮動小数点演算器で処理を行い電力を消費
- ➔ メモリシステムのアクセスおよび演算あたりのエネルギーの推定

消費エネルギー推定

➤ ベクトルプロセッサの消費電力とモデル化

➤ 消費電力の式(動的電力)

$$\begin{aligned}
 P^{dy} &= P_{llc}^{dy} + P_{hbm}^{dy} + P_{add}^{dy} + P_{mul}^{dy} + P_{mla}^{dy} \\
 &= E_{llc}^{dy} F_{llc} + E_{hbm}^{dy} F_{hbm} + E_{add}^{dy} F_{add} \\
 &\quad + E_{mul}^{dy} F_{mul} + E_{mla}^{dy} F_{mla} \quad (1)
 \end{aligned}$$

E^{dy} は動的エネルギー, F は時間当たりのアクセス数および演算数

- $E_{add}^{dy}, E_{mul}^{dy}, E_{mla}^{dy}$ はそれぞれ加算, 乗算, 加乗算1回あたりのエネルギー
- $E_{llc}^{dy}, E_{hbm}^{dy}$ はそれぞれLLC,HBMに対する1回あたりのアクセスエネルギー

➤ メモリアクセスと浮動小数点演算のエネルギー推定

- 各カーネルの消費電力の差から該当する演算・アクセスの1回あたりの消費エネルギーを算出

エネルギー推定に使用するカーネル

カーネル	内容	アクセス	和	積	積和
copy	$B[i] = A[i]$	2	0	0	0
add	$B[i] = A[i] + 2.0$	2	1	0	0
mul	$B[i] = A[i] * A[i]$	2	0	1	0
mla	$B[i] = A[i] * A[i] + 2.0$	2	0	0	1

評価結果

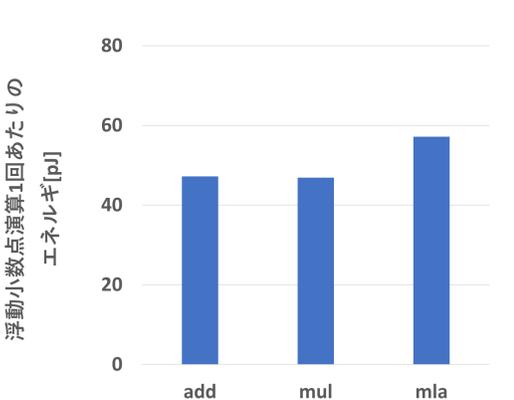
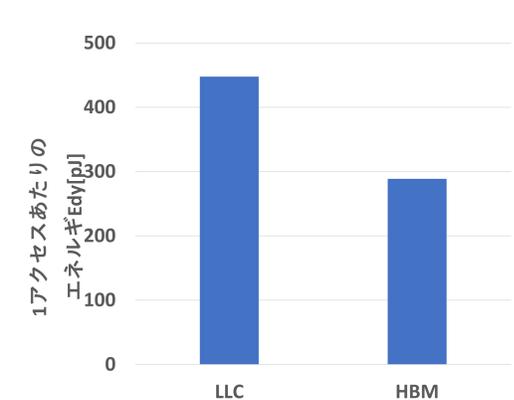
➤ 評価環境

- SX-Aurora TSUBASA A300-2のVE でカーネルを実行
- Vcore:8コア, LLC:16MB, HBM:48GB

➤ 評価条件

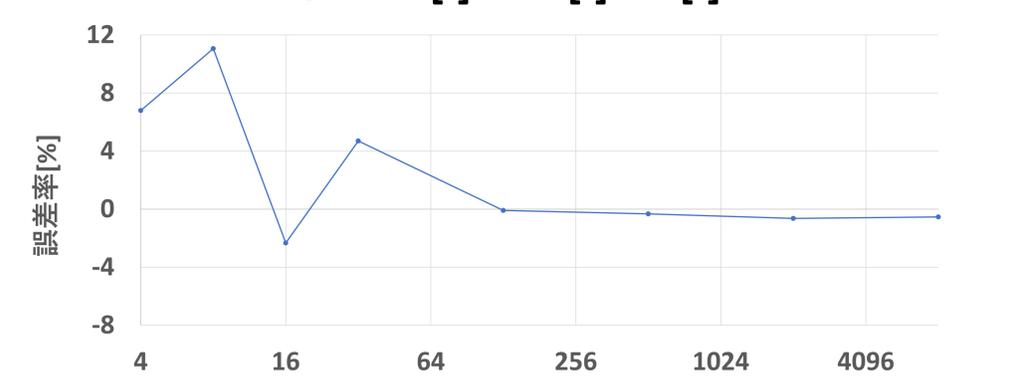
- 静的電力:アイドル時の電力(53.2W)
- カーネルは10分間の実行において1秒間隔で値を取得し, その平均電力を使用

メモリアクセスと浮動小数点演算のエネルギー



推定した消費エネルギーを用いたカーネルの消費電力の予測

➤ DAXPYカーネル: $Y[i] = aX[i] + Y[i]$



➔ アクセスサイズが32MB以上で, 高精度な予測の実現

今後の計画

- アクセスサイズが小さい場合の予測精度の改善
- より複雑なアプリケーションへの適用
- 将来システムの消費電力の予測を可能に