

近藤 正章

東京大学大学院情報理工学系研究科
准教授

ポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワークの開発

§ 1. 研究実施体制

(1)「システムソフトウェアグループ」グループ

① 研究代表者: 近藤 正章 (東京大学大学院情報理工学系研究科、准教授)

② 研究項目

- ・電力制約適応型システムのための基盤システムソフトウェアの開発
- ・動的ノブ制御用ミドルウェアの設計と開発
- ・電力制約適応型ジョブ管理技術の設計とプロトタイプ作成

(2)「最適化コード生成」グループ

① 主たる共同研究者: 三吉 郁夫 (富士通株式会社次世代テクニカルコンピューティング開発本部、シニアマネージャー)

② 研究項目

- ・電力性能最適化アルゴリズムの開発

(3)「電力性能予測技術」グループ

① 主たる共同研究者: 井上 弘士 (九州大学大学院システム情報科学研究院、教授)

② 研究項目

- ・電力性能挙動プロファイリングに基づくプログラム・チューニングと電力性能評価
- ・電力性能推定/評価環境の構築
- ・電力指向計算機センター運用方針に関する検討

(4)「システムアーキテクチャ」グループ

① 主たる共同研究者: 三輪 忍 (電気通信大学大学院情報システム学研究科、准教授)

② 研究項目

- アーキテクチャトレンドの調査
- 電力性能ノブのモデリング
- 制御アルゴリズムの検討

§ 2. 研究実施の概要

研究では、限られた電力資源を各アプリケーションに、各ハードウェア要素に適応的に配分することで性能やシステムの電力効率を向上させる「電力制約適応型システム」をコンセプトとし、電力資源を真に有効利用できる電力マネジメントフレームワークを開発している。本年度は各種ツール群の公開に向け、主として電力性能最適化フレームワーク、複数ジョブ間での電力資源管理を行うスケジューラとミドルウェア、電力性能予測ツールの設計と実装を行ったほか、標準電力観測・制御 API の検討も行った。

電力マネジメントフレームワークに関しては、MHD シミュレーションや FMO など、実アプリケーションを対象にした電力制約下での CPU と DRAM への最適電力配分の知見、およびノード間電力性能特性ばらつきを考慮した最適化の知見をもとに、最適化のプロセスを自動化するための環境を構築した。本フレームワークは 1)オリジナルプログラムコードに対プロファイルと電力ノブ制御のための API 呼び出すコード解析部、2)得られたコードによりいくつかのノブ設定でプロファイリング実行を行うプロファイラ部、3)得られた情報を利用し電力分配最適化アルゴリズムにより各制御ポイントでの電力配分を決定する最適化部、4)電力配分に従い API により電力ノブを制御しつつ実行を行う実行部、から構成される。いくつかのアプリケーションで検証を行ったところ、ほぼ自動で電力制約下での性能最適化を行う道筋を付けることができ、最適化の結果として最大で約 2 倍の性能向上が得られることを確認した。

複数ジョブ間での電力資源管理を行うスケジューラとミドルウェアとしては、システムの電力供給と使用状況、アプリケーションの性質に応じた電力資源スケジューリングを行うためのスケジューラを開発中である。スケジューリングポリシーは計算機センターの運用に依存するが、一例として、高優先ジョブの電力消費要求を把握しつつ、性能が低下しない範囲で電力制約を動的に設定し、余剰電力で高優先ジョブ以外の通常ジョブを動作させるためのミドルウェアを電力資源スケジューラに組み込み、機能検証と有効性評価を行った。余剰電力を有効活用してより多くのジョブを実行できるため、システムスループットを向上させることができるといふ初期評価結果を得ている。

電力性能予測ツールに関しては、昨年度に開発した電力推定可能なインターコネクト・シミュレータ NsimPower において、米国ローレンス・リバモア国立研究所が開発する Boxfish と連結を可能とし、電力推定結果の効率的な可視化を行うことができるよう拡張を行った。さらに、集団通信を対象としたリンクのオン/オフ制御の電力削減効果に関する評価を実施し、ツールとしての利用可能性を検証した。

さらに、アプリケーション個別の電力制御から、計算機センターの運用にも利用可能な電力観測・スケジューリングを行うための統一的、かつ恒久的に利用可能な標準 API を構築するべく、特に本年度は東京工業大学学術国際情報センターにも協力頂き、システム全体の電力制御に必要な API に関して検討を行った。Sandia National Laboratory (SNL) が標準 API のプロトタイプ仕様を公開したため、SNL との協力関係を構築しつつ、TSUBAME の知見を踏まえて SNL の電力 API に対してフィードバックを行いながら、標準電力観測・制御 API の提案に向けた調査と議論を行っている。

【代表的な原著論文】

- [1] 三輪忍, 會田翔, 安島雄一郎, 清水俊幸, 安里彰, 中村宏, “実 HPC 環境における EEE の電力/性能評価”, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム, Vol.7, No.4, pp.67-83, 2014.
- [2] Keiichiro Fukazawa, Tomonori Tshata, Kyohei Yoshida, Aruta Uehara, Masakazu Kuze, Masatsugu Ueda, Yuichi Inadomi, Koji Inoue and Mutsumi Aoyag, “Performance and Power Consumption Evaluation of MHD Simulation for Magnetosphere on Parallel Computer System with CPU Power Capping”, Extreme Green & Energy Efficiency in Large Scale Distributed Systems, May 2014.
- [3] Satoshi Imamura, Hiroshi Sasaki, Koji Inoue, and Dimitrios S. Nikolopoulos, “Power-Capped DVFS and Thread Allocation with ANN Models on Modern NUMA Systems”, International Conference on Computer Design, pp.324-331, 2014.