

eBPF を用いた低遅延電力・温度モニタリング基盤の設計と実装

2022TC065 對馬秀悟

指導教員：宮澤元

1 はじめに

本研究では、eBPF と SCX を用いたカーネル空間での温度、電力抑制スケジューリングの設計と評価手順の記述を対象とする。試作を行い、応答時間およびスループットの観点から評価を行う。

Kepler は eBPF とセンサ情報等を活用して、コンテナ／Pod 単位でエネルギー関連メトリクスを推定・輸出するプロジェクトである。一方、SCX は Linux 6.12 で公式ドキュメントに掲載された BPF でスケジューラを実装できる拡張可能なスケジューラクラスであり、スケジューリング挙動を BPF プログラムで定義可能にする。

本研究の目的は、エッジ環境において消費電力を抑えながら体感を損なわない応答時間で運用可能であることを示す。

tracepoint を用いて温度をカーネル内で取得し、BPF マップに保持する。SCX 側の BPF スケジューラは、この情報と各タスクの指標を用いてキュー割付けとディスパッチ戦略を段階的に縮退させる。ユーザー空間への往復を避けることで、意思決定～制御の遅延とオーバーヘッドを最小化することが狙いである。

本研究の貢献は以下の点である

- カーネル内で完結する高温防止制御を提示し、試作を行う
- 試作したシステムを用いて温度、消費電力、応答時間とスループットを評価する

2 背景

Kepler はクラスタ環境でエネルギー関連メトリクスを推定し外部へ輸出する。本研究はその推定結果を用いた外部制御ではなく、SCX によりスケジューリングを直接カーネル内で制御する点に主眼がある。

SCX は BPF でスケジューリングの主要フックを定義できるため、温度段階に応じたディスパッチ縮退やスライス調整を実装しやすい。

3 設計

以下に現在動作するプログラムの概要を示す。

メトリクス取得側:tracepoint/thermal/thermal.temperature をフックし、温度段階を決定して BPF マップに保存する。
スケジューリング側:SCX の enqueue / dispatch で BPF マップから段階を参照し、段階に応じて

- 参照する FIFO キュー本数の縮退
- タイムスライスの短縮
- 上位キュー優先

などを行う。閾値を跨いだ場合にのみ積極的な負荷抑制を実施する。

ただし、このプログラムはメトリクス取得と SCX の動作や連携の確認のためのものである。

4 実装

実験環境

- RaspberryPi5

5 実験

温度ピーク抑制量とスループット低下のトレードオフ、および遅延のばらつきを評価観点とする。

6 おわりに

本稿では eBPF と SCX によりカーネル空間で温度指標に応じてスケジューリング挙動を制御する試作系の設計と実装要点を示した。

今後は電力測定機器の追加、プログラムの基本動作の検証を終えたため、今後は設計を再構成し、堅牢性・保守性・拡張性を備えた本実装へ移行する。

7 参考文献