

次世代SSD向けアーキテクチャ探索プラットフォーム

大量のシミュレーション結果を分析して最適なSSD構成を効率的に探索

近年の高性能SSD（ソリッドステートドライブ）の開発では、性能や、消費電力、信頼性などの多様な要求を満足する必要がありますが、SSDのアーキテクチャを決定するにはパラメータの膨大な数の組合せを考慮しなければならず、最適な組合せを求めることが困難になってきています。

そこで東芝は、多種多様なSSDのシミュレーションを行い、蓄積した大量のシミュレーション実行結果を分析して最適解を探索する統合プラットフォームArcHunter+Polyspectorを開発しました。これにより、多様な要求を満足するためのパラメータの最適な組合せを、開発の初期段階に効率良く探索することができます。

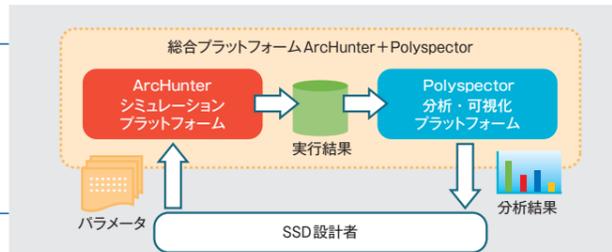


図1. ArcHunter+Polyspectorの構成 — 多種多様なSSDのシミュレーションが可能なArcHunterと、シミュレーション結果を分析及び可視化するPolyspectorで構成されます。

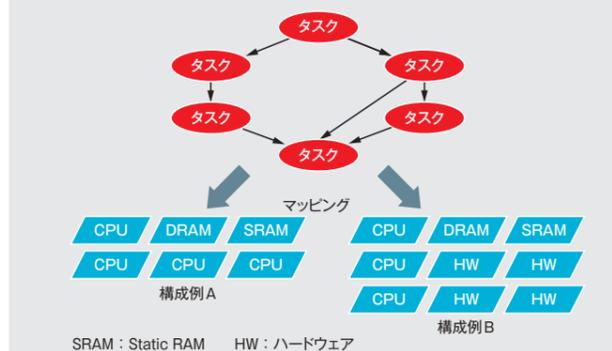


図2. ArcHunterによるアーキテクチャの表現 — 機能や動作を抽象的に記述したタスクと、動作制約を記述したハードウェアの組合せでアーキテクチャを表現します。

SSDの普及と開発の課題

近年、NAND型フラッシュメモリに代表される不揮発性半導体メモリを用いたデータ記憶装置であるSSDが普及しています。SSDは、昨今の目覚ましい高性能化とともに急速にその応用範囲を広げ、PC（パソコン）やタブレットなどの民生機器や、データセンターへの適用が進んでいます。更にストレージシステム全体をSSDで実現するオールフラッシュストレージも登場しています。

応用範囲の拡大に伴い、SSDに求められる性能や、消費電力、信頼性といった要求も多様化しています。これらの要求を満足するSSDを開発するために、設計者はパラメータの膨大な数の組合せを考慮しなければならず、最適なパラメータの組合せを探索することが困難になってきています。

大量のシミュレーション実行結果の分析による最適解の探索

最適なアーキテクチャを探索するためには、シミュレーションを活用した性能見積りに基づいた比較分析が重要です。このため、豊富なパラメータが設定可能で、かつ多種多様なSSD開発に適用可能なように、十分に汎用化されたSSDシミュレータが必要になります。また、パラメータの膨大な数の組合せに対してシミュレーションを実行するため、大量の実行結果を効率良く分析してパラメータの最適な組合せを探索する必要があります。

そこで東芝は、多種多様なSSDのシミュレーションが可能なArcHunterと、シミュレーション結果を分析及び可視化するPolyspectorを組み合わせた統合プラットフォームArcHunter

+Polyspectorを開発しました（図1）。ArcHunter+Polyspectorは様々なSSD開発プロジェクトで共通して使用できるように構成されており、将来にわたる開発プロジェクトにおいて、設計ノウハウの蓄積及び共有に役立てることができます。

ArcHunter+Polyspectorの特長

ArcHunterはシステムのアーキテクチャを抽象的にモデリングすることが可能な汎用シミュレーション環境です。システムの機能や動作を記述する“タスク”と、システムの持つ動作制約を記述した“ハードウェア”を組み合わせることでアーキテクチャを表現します。また、これらタスクやハードウェアを抽象化して効率良くモデリングするためのインタフェースを提供します。



図3. パラメータの最適な組合せの探索事例 — 大量のシミュレーション結果を一括して比較分析し、要件を満たす最適解を効率的に探索できます。



図4. 特定のシミュレーション結果の詳細な分析 — 三つのチャートを活用して、性能を阻害する要因を特定できます。

あるタスクの動作は、対となるハードウェアとの組合せ（マッピング）で具体化されます。このマッピングをユーザーが柔軟に変更しながらシミュレーションを行うことができます（図2）。

また、ArcHunterは、豊富なパラメータを設定することが可能なリファレンスSSDモデルを備えています。これにより、パラメータの範囲を選択するだけで、多種多様なSSDの構成を想定したシミュレーションが可能です。

更に、ArcHunterのシミュレーション結果は、Polyspectorにそのまま入力され、性能や消費電力などの様々な統計情報を生成して、Webブラウザを用いたGUI（グラフィカルユーザーインタフェース）で可視化できます。また、一度実行されたシミュレーション結果は蓄積され、必要に応じてユーザーが自由に参照できます。

アーキテクチャ探索の事例

ArcHunter+Polyspectorによる探索事例として、約26,000通りのパラメータの組合せから、SSDのランダム読出しの要件を満たす最適解を探索した結果を、以下に述べます。

図3(a)に示す平行座標プロット（Parallel Coordinates）と呼ばれるチャートを用いることで、パラメータの多数の組合せに対するシミュレーション結果を一括表示して比較できます。また、図3(b)に示すように、特定のパラメータの範囲を選択することで、要件を満たす組合せをインタラクティブに絞り込むことができます。

この事例では、目標とする性能やメモリ使用量などの要件で絞り込みを行い、最終的に三つの最適解の候補が得られました。

性能を阻害するボトルネック要因の特定

探索により得られた候補のそれぞれのシミュレーション結果は、図4に示すチャートを利用することで、更に詳細な分析が可能です。

図4左上の“メトリクスチャート”では、全体的なシステム性能の推移を俯瞰（ふかん）的に把握します。この例では、読出し応答時間の推移を散布図形式で表示しています。

次に、図4右上の“コンポーネントヒートマップ”を用いることで、SSDを構成するタスクやハードウェア部品の中で負荷の高いものを特定できます。例えば、図4に示すように、メトリクスチャートで一定以上の応答時間となる範囲を選択すると、関係する部品の負荷バランスが赤色の濃淡でハイライト表示され、性能を阻害するボトルネック要因を特定できます。

最後に、図4下の“イベントタイムシリーズ”では、個々のタスクやハードウェアの詳細な内部動作の履歴を時系列で可視化できます。これらのチャートを効率良く活用することで、アーキテクチャの最適化を行うことができます。

今後の展望

次世代SSDの開発を加速する効率的なアーキテクチャ探索環境を開発しました。今後は、当社のSSD開発において実用化を推進していくとともに、その他のストレージへの適用拡大を目指していきます。

長谷川 揚平

研究開発統括部 研究開発センター
コンピュータアーキテクチャ・セキュリティラボ
ラトリー 研究主務