

審査の結果の要旨

氏名 孫超

本論文は、「**“High Performance Solid-State Storage Systems with Memory-Aware Software Design”** (和訳:メモリと制御ソフトウェアの統合設計によるソリッド・ステート・ストレージシステムの高性能化)と題し、産業用サーバなどに広く用いられている高性能ソリッド・ステート・ドライブ (SSD) の性能を向上することを目的とする。本論文は特に、SSD の性能を向上するためにストレージの異なるレイヤを統合する手法に関する知見を提示するもので、全 8 章で構成される。

第 1 章は「序論」であり、NAND 型フラッシュメモリやストレージ・クラス・メモリ (SCM) の位置づけを述べるとともに、本研究の背景を述べ、目的を明確化する。

第 2 章は「SSD の性能問題」と題し、SSD を構成する NAND フラッシュメモリの動作原理を述べ、解決すべき性能問題を明らかにする。さらに、SCM の書き込み原理と、SSD のアーキテクチャとコントローラを含む SSD の基本特性を示す。

第 3 章は「メモリチップ設計」と題し、SCM/NAND フラッシュ・ハイブリッド SSD 内の SCM と NAND フラッシュメモリの設計指針を、性能と価格の点から示す。メモリ容量の必要条件をシミュレーションの結果から議論する。

第 4 章は「Flash Translation Layer (FTL) 設計」と題し、SCM を書き込みバッファとして用いる、3 次元 SCM/NAND フラッシュ・ハイブリッド SSD を提案する。提案手法の cold data eviction (CDE) アルゴリズムを用いると、SSD 性能 12.6 倍向上、エネルギー消費 92.8% 削減、耐久性 9.7 倍増大が達成された。

第 5 章は「ミドルウェア設計」と題し、SSD の書き込み性能の制約となる、NAND フラッシュのみの SSD のガーベッジ・コレクション (Garbage Collection) のオーバーヘッドを最小に抑えるミドルウェア LBA scrambler を提案する。SSD 性能 17%-400% 向上、エネルギー消費 23%-60% 削減、耐久性 9%-55% 増大が達成された。

第 6 章は「ファイルシステムの考察」と題し、SSD 性能におけるファイルシステムの影響を議論する。異なるファイルシステムのもとで SSD 負荷を解析し、NAND フラッシュ aware ファイルシステムがランダム書き込みをシーケンシャルデータにグループ化し、メタデータの更新を削減することで SSD 性能向上が実現した。

第 7 章は「データベース・ストレージ・エンジン設計」と題し、SSD を補助するストレージエンジン (storage engine assisted SSD: SEA-SSD) を提案する。データベース・ストレージ・エンジンと SSD コントローラの協調設計によって、SSD 性能 24% 向上、エネルギー消費 16% 削減、耐久性 19% 増大が達成された。

第 8 章は「結論と将来の展望」と題し、提案技術の利害得失を述べるとともに、将来の展望を議論する。

以上のように本論文は産業用サーバなどに使用される高性能ソリッド・ステート・ドライブをストレージ・クラス・メモリとフラッシュメモリのハイブリッド構成にし、データを最適なメモリに格納することによって性能を向上させる手法を提案し、デバイスの実測とシミュレーションを組み合わせた評価を通じてその有効性を実証しており、電子工学上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。