

論文内容の要旨

博士論文題目

Flash Codes with Binary-Indexed, Resizable-Cluster and Dual Mode of Encoding

(2進インデックス, 可変クラスタおよび2モード符号化方式を用いたフラッシュ符号に関する研究)

氏名 Michael Joseph New Tan

(論文内容の要旨)(1,200字程度)

多くのコンピュータシステムや電子機器において,フラッシュメモリを用いた記憶装置が広く利用されている.フラッシュメモリは多くの利点を持つ優れた記録方式であるが,長期の使用に伴ってセルを構成する絶縁膜が劣化するため,原理的に,有限の寿命しか持ちえない.フラッシュメモリの長寿命化を図るため,ウェアレベリングに代表される摩耗均質化手法の採用,フラッシュメモリの特性を考慮したファイルシステムの構成等が研究され,実用に供されている.本論文では,フラッシュメモリ内での情報の表現手法を工夫することによってセルの消耗を回避し,メモリの長寿命化に資することを検討している.

本論文第1章では,フラッシュメモリを取り巻く技術等を概観し,フラッシュメモリのための符号化方式,すなわちフラッシュ符号の基本的な考え方を紹介している.

第2章では,フラッシュメモリおよびデータ操作体系の形式的モデルを与えると同時に,関連研究について広く概観し,先行技術の特性等について議論を行っている.とくに,「スライス」と呼ばれるセルの小単位を利用して符号を構成する方式について詳しく述べられており,当該分野のベンチマークとして参照されることの多い ILIFC と呼ばれる符号化方式に関する解説も,本章に含まれている.

第3章では,2進インデックス型スライス符号化方式(BIFC)の構成法が提案されている.スライス型フラッシュ符号において性能を確保するためには,スライスのサイズ(スライスを構成するセルの個数)をできるだけ小さくすることが望ましい.ただし,安直にスライスサイズを小さくしてしまうと,1つのスライスに記録できる情報の量も小さくなってしまうため,様々な弊害が生

じることとなる。本章では、少し特殊な2進表現により情報を記録することで、標記の弊害を回避しつつ、スライスサイズを削減することに成功している。

BIFC は単体でもフラッシュ符号として機能するが、その使用にあたっては若干のオーバーヘッドが生じるため、全面的にBIFCに頼ることは得策ではない。この視点に基づき、第4章、第5章では、BIFC を部品として利用することで、より洗練されたフラッシュ符号の構成が検討されている。第4章で提案されている符号化方式では、スライスの上位の単位としてクラスタと呼ばれるセル集合を使用し、クラスタにインデックス値を与えるのにBIFCを利用している。第5章の2モード方式では、BIFC とは全く異なる原理に基づく符号化方式を考え、BIFC と併用することで、両者の特長を併せ持つ方式を検討している。

これら符号化方式の性能について、論文第6章にて、計算機模擬による実験評価が与えられている。フラッシュ符号の性能は、ある条件において実行することのできるデータ操作回数によって評価される。本章の評価結果によると、本論文で提案した方式は、既存の符号よりも平均性能において優れ、フラッシュ符号の長寿命化に資する部分が多いことが示されている。以上の結果の総括、今後の展望等については、第7章で議論が行われている。

(論文審査結果の要旨)(1枚 1,200字程度)

本論文では、フラッシュメモリ向けの符号化方式について様々な検討が行われており、以下のような知見が得られている。

(1) セルの小単位である「スライス」を用いてフラッシュ符号を構成することは、実用的で重要なアプローチとして広く認識されている。スライス型フラッシュ符号では、一つのスライスの内部に、「データのインデックス」と「データの値」の2つの情報を記録するため、インデックス管理のオーバーヘッドが不要、フラッシュメモリのセルを有効に活用できる、スケーラブルな符号設計に向いている等の利点がある。しかし、スライス内に2つの情報を記録するのは自明なことではなく、非常に注意深く設計されたスライス符号化方式が必要となる。原理的に、スライスのサイズを小さくすれば符号全体の効率が改善することが期待できるが、これまでは、小さなスライスに対して機能するスライス符号化方式が知られていなかった。本論文では、スライス内のセルを type-0, type-1 の2種類に分類できる方式を与え、タイプの違いでもって、スライスの表現するインデックス値を2進表現するスライス符号化方式BIFCを与えている

(第3章)。従来研究では、スライスサイズはデータ長に対して線形的である必要があったが、本方式では、データ長の対数オーダのサイズを持つスライスの利用も可能となり、スライス型フラッシュ符号の性能を著しく改善することが可能となっている。

(2) 上述したBIFCの使用には若干のオーバーヘッドが生じるため、可能であれば、BIFCを不必要に用いることは避けたほうが良い。本論文では、この問題への対処方が2つ与えられている。可変クラスタフラッシュ符号(第4章)では、スライスの上位概念として「クラスタ」と呼ばれる構造を導入し、クラスタにインデックス値を付与するのにBIFCを用いている。1つのクラスタにおけるBIFCの使用が制限されているため、BIFCのオーバーヘッドを回避しつつ、スライスサイズを極小とすることのメリットを享受することができている。第5章で提案されている符号化方式は、BIFCのオーバーヘッドを回避するための2つ目の対処法であり、2つの異なる符号化原理を適宜切り替えることで、予測のできないデータ操作にも柔軟に対処できる仕組みの構成に成功している。

(3) 計算機模擬により、提案符号化方式が、既存の符号化方式よりも優れた性能を発揮し得ることが示されている。フラッシュメモリでは、1つのブロックが数千回から数万回程度再利用されるため、符号の平均性能が重要な指標となる。提案手法は優れた平均性能を有しており、所期の目的であるフラッシュメモリの長寿命化に資するところが大きいことが示されている。

以上の通り、本論文で提案された手法と得られた結果は、フラッシュメモリの効率的な利用と長寿命化に対して直接的な貢献を成し得るものとなっている。また、情報理論におけるWOM符号、WAM符号の研究等の符号理論的な視点からも興味深い結果となっており、博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。