

容量仮想化機能を備えるフラッシュドライブを活用した 高性能重複排除処理方式

達見 良介† 吉原 朋宏† 杉本 定広†
(株) 日立製作所 研究開発グループ†

1. はじめに

近年, NAND フラッシュメモリを用いた SSD 等の記憶媒体の利用が拡大している. SSD は HDD に比べて高性能である一方, 容量当たりの価格が高い. そのため, これらの記憶媒体を用いた多くのフラッシュストレージシステムでは, 利用可能な容量の増加を目的として, 重複排除 [1], [2]等の技術が用いられる.

一般に, 重複排除を行うストレージシステムは, データの格納先領域を確保する処理に伴うデータコピーが発生し, 性能低下の要因となる. 本研究では, 重複排除処理におけるデータコピーの量を削減する領域管理方式を提案する.

2. 重複排除処理における課題

重複排除では, アドレス空間の複数箇所でも繰り返されるデータの並びを単一の記憶領域に対応させることで, 消費する記憶領域を節約する. そのため, 重複排除を行うストレージシステムは, ホストに仮想的な記憶領域である論理ボリューム(LV)アドレス空間を提供し, データ格納先である記憶領域との間のマッピング情報をN対1で管理する(図 1).

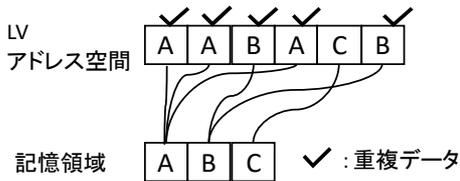


図 2 重複排除処理のデータ管理

格納されるデータに重複が生じた場合, LV のアドレスと記憶領域のマッピングのみを更新する. この場合, 記憶領域に対する新たなデータの格納は不要である. つまり, データの重複の有無で格納の要否が変化するため, 記憶領域の割り当てを動的に行う必要がある.

そのため, 重複排除を行う多くのストレージ

システムでは, データの更新に対して格納先の記憶領域を新規に割り当てるログストラクチャ方式 [3]を用いる. ログストラクチャ方式では, 更新後のデータを予め確保された, 未使用の連続した記憶領域に追記形式で格納する. 更新前のデータを格納した領域は上書きせず, マッピ

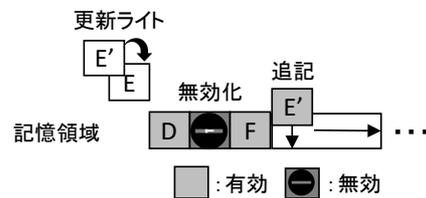


図 3 ログストラクチャ方式

ングにより無効な記憶領域として管理する(図 2).

ログストラクチャ方式では, 連続した未使用の記憶領域を確保することで効率的にデータの格納を行う. 一方で, 未使用の記憶領域を消費しきった場合, 無効な記憶領域を再利用するためにガベージコレクション(GC)が必要である(図 3). 効率的なデータ格納を継続するために, 無効な記憶領域が断片化している場合は, 有効なデータを異なる記憶領域にコピーすることで, 連続した未使用の記憶領域を確保する必要がある. データのコピーの増加は, LV に対するアクセス性能の低下につながる.

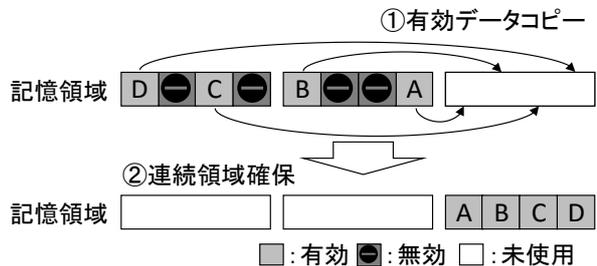


図 1 ガベージコレクション処理

3. 提案方式

GCによるデータコピーを不要化する領域管理方式として, 更新後のデータを, 更新前のデータと同じ記憶領域に上書きするストレートマッピングを提案する. ストレートマッピングでは,

Deduplication method utilizing Flash Drives with Data Volume Virtualization

† Ryosuke Tatsumi, Tomohiro Yoshihara, Sadahiro Sugimoto, Hitachi, Ltd. Research & Development Group

全てのLVアドレス領域に対し、更新データ格納先の記憶領域を静的に割り当てる。これにより、データ更新後に、無効な記憶領域は発生せず、GCによって未使用領域を確保する必要がない。

しかし、この方式は、全LVアドレス空間と同じサイズのフラッシュメモリ(FM)の記憶領域が必要となる。そこで、記憶領域として、仮想的に、FMの物理記憶領域よりも大きなFM論理記憶領域を提供する容量仮想化機能を持ったフラッシュドライブ [4]を使用する。このフラッシュドライブは、データがライトされたFM論理記憶領域のみにFM物理記憶領域を割り当てる。そのため、データがライトされていないFM論理記憶領域に対応する物理容量は必要としない。

次に、ストレートマッピングを用いた重複排除処理手順を示す(図 4)。

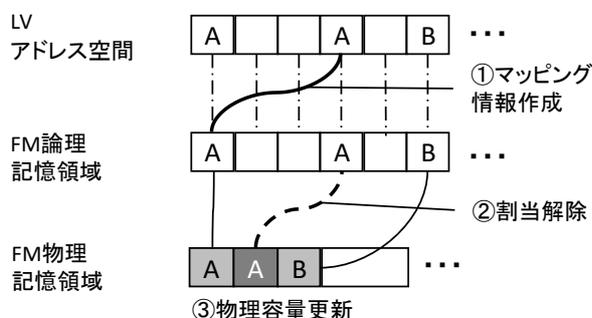


図 4 ストレートマッピング

重複データ検出後、以下のステップで重複排除処理を実施する。

- ① 重複データを格納する複数のLVアドレスから、1つのFM論理記憶領域を指すマッピング情報を作成する。
- ② 残りの重複データのFM論理記憶領域に対応するFM物理記憶領域の割り当てを解除する。
- ③ フラッシュドライブの割り当て済み物理容量を更新する。

②で割り当て解除されたFM物理記憶領域は、フラッシュドライブ内のGCによって、再利用される。これにより、重複排除によるデータ削減が実現できる。提案方式では、ストレージシステムがデータ格納先の記憶領域を動的に確保する必要がないため、ストレージシステムにおけるGCが不要となる。

4. 提案方式の評価

提案方式による GC のデータコピー量削減効果の評価するために、ログストラクチャ方式の GC によるデータコピー量を計算する。図 5 にランダムライト中の GC によるデータコピー量を示す。

ログストラクチャ方式は、有効データ割合の増加とともに、空き領域を確保するために、GC のデータコピー量が増加する。これは、有効データ割合が大きいときに、ストレージシステムの性能が低下することを意味する。

一方、ストレートマッピング方式では、有効データ割合が増えても、GC によるデータコピー量は発生しないため、実装されているフラッシュドライブの容量を上限まで消費していても、性能が低下しない。

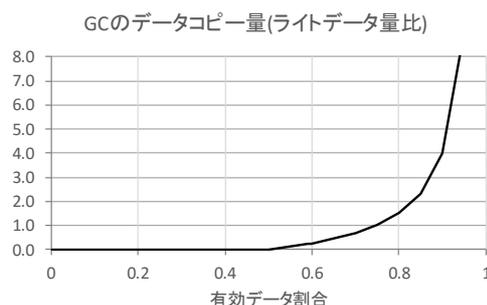


図 5 GC におけるデータコピー量

5. まとめ

本研究では、重複排除処理における領域管理方式として、ストレートマッピングを提案した。提案方式は、GC が不要化され、データコピー量を削減できることを示した。特に、有効データ量の割合が高いときには、ログストラクチャ方式に比べて、高性能を達成できる。

参考文献

- [1] I. Chernov, E. Ivashko, A. Rumiantsev, V. Ponomarev, A. Shabaev, "Survey on Deduplication Techniques in Flash-Based Storage," *Proceeding of the 22nd Conference of Fruct Association*, 2018.
- [2] J. Paulo, J. Pereira, "A Survey and Classification of Storage Deduplication Systems," *ACM Computing Surveys*, Vol. 47, No. 1, 2014.
- [3] M. Rosenblum, J. K. Ousterhout, "The Design and Implementation of a Log-Structured File System," *ACM Transactions on Computer Systems*, Vol 10, No. 1, February 1992, Pages 26-52, 1992.
- [4] 小関, 新井, 河村, "オールフラッシュアレイ向け高性能データ圧縮機能の実装方式検討," 平成28年電気学会全国大会 シンポジウム, 2016.