

## 複数サーバ接続の多段キャッシュストレージにおけるキャッシュ置換法 A Study of Cache Replacement Method for Network Storages with Multiple Server Computers

長廻 雄介† 山口 実靖†  
Yusuke Nagasako Saneyasu Yamaguti

### 1. はじめに

近年、ストレージ容量は増大を続けており、扱うデータ量も増加の一途を辿っている。それに伴う管理コストの増加が情報社会の問題の一つとなっている。そこでNAS(Network Attached Storage)やSAN(Storage Area Network)といったネットワークストレージを用いたデータの集約・一元管理により、管理コストを削減する手法が提案され広く使われている。

ネットワークストレージへのアクセスは基本的に、サーバ計算機上のキャッシュとストレージ機器のキャッシュを介して行われる。このとき、サーバ側のキャッシュ置換手法がLRUである場合、ネットワークストレージに到着するI/O要求には通常とは逆向きの負の参照の時間的局所性が存在し、参照の時間的局所性を期待するLRUキャッシュ置換手法は効果的に機能しないことが既存研究[1]から分かっている。

本稿は、文献[2]で提案した負の時間的局所性を考慮したキャッシュ置換手法が複数サーバ環境において効果的に機能するか評価する。

### 2. 複数サーバ環境下での負の参照の時間的局所性

サーバキャッシュに格納されているデータと、ネットワークストレージキャッシュに格納されているデータが重複している場合、ネットワークストレージキャッシュは重複しているデータを有効に用いることができない。

また、サーバがLRUキャッシュ置換手法を用いている場合、サーバキャッシュには最近アクセスされたデータが集まるため、最近アクセスされたデータはサーバキャッシュで処理され、ネットワークストレージキャッシュにはアクセスが来ない。つまりネットワークストレージへのI/O要求には負の参照の時間的局所性が存在する[2]。これは複数サーバ環境でも同様であり、その影響はサーバ台数に比例して大きくなると予想される。

複数サーバ環境では、各サーバはそれぞれのアクセスにより得たデータを個別のキャッシュに保存する。また、すべてのサーバに対してネットワークストレージキャッシュはデータを到着順に格納しようとするため、サーバ台数が増加すると、同一サーバが再度アクセスした際に以前のデータが破棄される可能性が高くなる。LRUは負の参照の時間的局所性により、最低でもサーバキャッシュサイズを超える量のデータを格納しなければヒットすることはなく[1]、サーバ台数分格納しなければならないため、複数サーバ環境では効果的ではない。

### 3. 逆LRUを付加したLFU

我々は、文献[2]において逆LRUを付加したLFU手法を提案している。本キャッシュ置換手法はアクセス頻度の小さいデータを置換対象とし、最低頻度のデータが複数存在する場合に、最後に参照されてからの時間が最も短いデータを置換対象(逆LRU)にする手法である。既存研究から、サーバ・ネットワークストレージが一对一のとき効果的に機能することが分かっている。

### 4. 評価

#### 4.1 評価手法

複数サーバ環境における提案手法の有効性を確認するため、シミュレーションによる評価を行った。本シミュレーションでは無作為に選択したサーバからデータアクセス要求を発生させ、各種キャッシュ置換アルゴリズム使用時のデータ重複率、ストレージキャッシュヒット率を調査した。データ重複率とは、サーバキャッシュ内データとストレージキャッシュ内データの重複率であり、これが高いほどストレージキャッシュが効果的に機能しないことになる。

アクセス対象のデータは、無作為に選んだ点をピークとする指数分布の偏りを持つ乱数により決定した。I/O要求を発行するサーバは、一定時間ごとに無作為に決定したサーバに変更する。

シミュレーションパラメータを以下に示す。サーバ台数は1~16台、サーバ変更頻度は5アクセス、ストレージサイズ(データ総数)は10,000ブロック、サーバキャッシュサイズは100ブロック、ストレージキャッシュサイズは100~500ブロック、アクセス回数は500,000アクセス、アクセス要求分布はサーバごとに異なるピークを持つ平均400の指数分布に従う。アクセス領域はサーバごとに異なり、複数サーバで同一のデータを共有することはない。

評価に用いたキャッシュ置換アルゴリズムは、(1)LRU、(2)RAND、(3)LFU、(4)逆LRUを付加したLFU、(5)FIXの5種類である。それぞれ、(1)最後のアクセスからの時間が最長のものを置換対象とする手法、(2)無作為に置換対象を選択する手法、(3)頻度最小値のものを選択する手法(頻度最小値が複数ある場合、その中から無作為に選択する)、(4)前章の提案手法、(5)無作為に選択したデータを保持し続ける手法(データの置換を行わない)である。

#### 4.2 性能評価

図1にデータ重複率、図2にストレージキャッシュヒット率を示す。それぞれ(a)はサーバ1台、(b)はサーバ4台、(c)はサーバ16台である。

†工学院大学大学院工学研究科電気・電子工学専攻  
Electrical Engineering and Electronics, Kogakuin University  
Graduate School

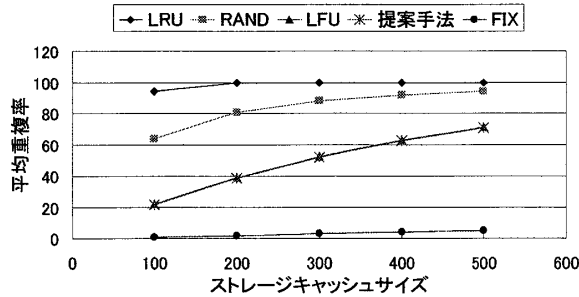


図 1(a)サーバ 1 台重複率

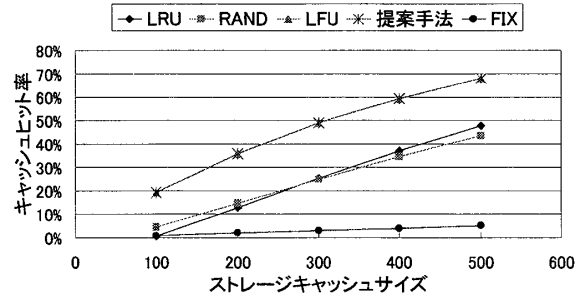


図 2(a)サーバ 1 台ストレージキャッシュ HIT 率

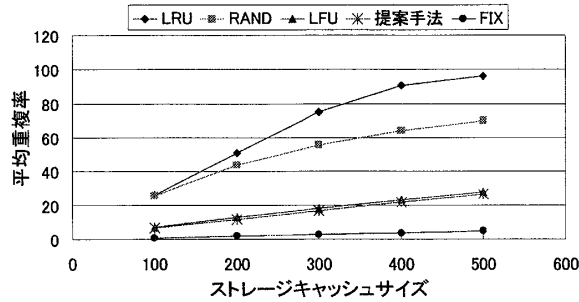


図 1(b)サーバ 4 台重複率

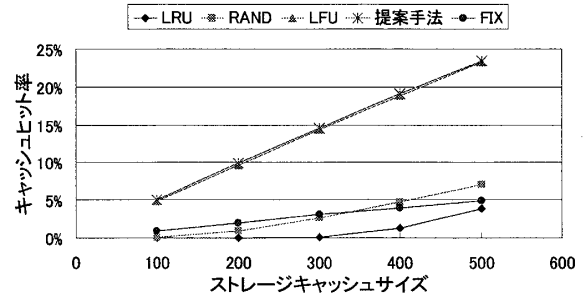


図 2(b)サーバ 4 台ストレージキャッシュ HIT 率

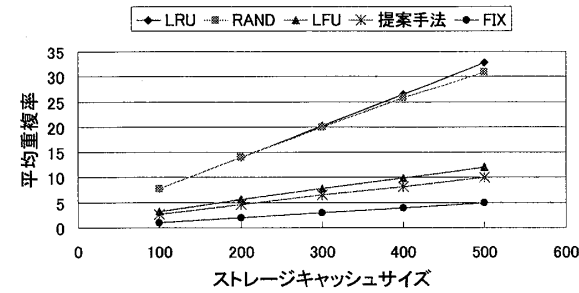


図 1(c)サーバ 16 台重複率

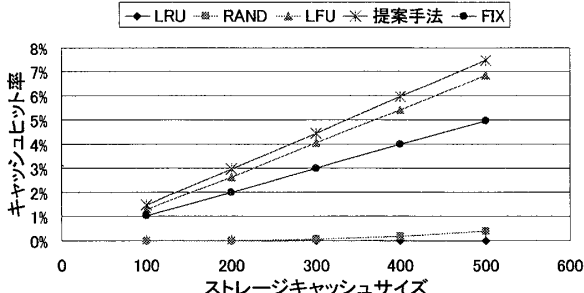


図 2(c)サーバ 16 台ストレージキャッシュ HIT 率

図 1 より LRU の重複率が極めて高いことが分かる。LFU・提案手法は重複率が低く、提案手法は逆 LRU の効果により、LFU より重複率が下がる傾向がある。FIX は初期値から置換することがないため重複率は非常に低い。

図 2 よりサーバ台数が増加しても、提案手法・LFU のキャッシュヒット率も最も高いことが確認できる。これに対し、既存手法である LRU のキャッシュヒット率は極めて低く、サーバ台数の増加に伴い、大きく性能が下がることが分かる。図 2(b)では、ストレージキャッシュサイズ 400 未満では LRU のキャッシュヒット率が特に低くなっている。これより、ストレージキャッシュサイズがサーバキャッシュの総計 (4\*100=400) より小さいと負の参照の時間的局所性により LRU の性能が著しく悪くなることが分かる。このことから、サーバ台数の増加に伴い、負の参照の時間的局所性強まる傾向があり、サーバ台数が増加するにつれて、特に LRU の性能が低下することが分かる。

図 2(c)を見ると、提案手法が最もキャッシュヒット率が高い。これは図 1(c)の様に、LFU よりも重複率が低くなっているためである。このことから逆 LRU を付加することで負の時間的局所性を緩和し、キャッシュヒット率が向上することが確認できた。

## 5. おわりに

本稿では、既存研究によりあきらかになっている負の参照の時間的局所性の存在を複数サーバ環境においても確認した。そして、提案したキャッシュ置換手法が複数サーバ環境においても効果的に機能するか評価を行い、提案したキャッシュ置換手法が最もキャッシュヒット率が高いことを確認した。

今後は、書き込み処理に関する考察、キャッシュ置換手法の OS への実装などを行う予定である。

謝辞

本研究は科研費 (22700039) の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 宮野 晋平, 山口 実靖, 浅谷 耕一, “多段キャッシュ型ネットワークストレージへのアクセスの時間的局所性を考慮したメモリキャッシュ制御”, 情報処理学会研究報告 マルチメディア通信と分散処理研究会報告, 2009年3月
- [2] 長廻 雄介, 山口 実靖, “多段キャッシュ型ネットワークストレージへのアクセスの時間的局所性を考慮したキャッシュ置換法”, 第 72 回(平成 22 年)情報処理学会講演論文集, 第 72 回分冊 3 pp261.