

## 負荷適応型ディスクキャッシュ制御機能とその評価

4B-5

井上 太郎\*

新村 義章\*\*

\*(株)日立製作所 システム開発研究所、\*\* (株)日立製作所 ソフトウェア開発本部

### 1. はじめに

計算機システムの主記憶とディスク装置との間のアクセス時間のギャップを埋めるものとして、ディスク制御装置(DKC)内に装備される半導体メモリであるディスクキャッシュ<sup>1)</sup>がある。本稿では、負荷に応じてディスクキャッシュの利用を動的に制御する機能を提案し、実測による評価結果を述べる。また、評価に用いたベンチマークプログラムについても述べる。

### 2. 従来の問題点

#### 2.1 ディスクキャッシュの動作モード

ディスクキャッシュの動作モードの主なものを示す。これらのモードは入出力時にCPUがチャンネルに指示する。  
 【ランダムアクセスモード】当該レコードを含むトラックをロードする。ランダムアクセスファイルに適用する。  
 【順次アクセスモード】レコードが読み出された時、後続トラックもロードする。これにより後のアクセスでのヒットが期待できる。順次アクセスファイルに適用する。  
 【キャッシュロード禁止モード】リードミス時にもトラックをロードせず、他のトラックを追い出さない。よって、新たにディスクキャッシュを使用することがない。

#### 2.2 ディスクキャッシュの利用における問題点

ディスクキャッシュのヒット率を上げるには、前記のモードを適切に使うことが必要で、従来は、ファイルの属性に従い、OSがランダムアクセスモードあるいは順次アクセスモードを選択していた。また、文献2)はヒット率の敷居値(固定値)を境にディスクキャッシュの利用の許可/禁止を制御する方式を示している。しかし、固定的な敷居値に基づく制御では、負荷の性質の違いが考慮されない。そこでヒット率の時間的な変化の傾向(上昇/安定/下降)を基準に制御する方式を提案する。これにより負荷の性質を制御に反映できる。

ディスクキャッシュはLRU方式で管理されるので、局所性の低いファイルにランダムアクセスモードを適用すると他のファイルを追い出す可能性がある。このような他のファイルへの悪影響を防ぐために、局所性が低いファイルはディスクキャッシュの使用を禁止すべきである。そこでディスクキャッシュの利用に関する優先度を設けることにより、局所性が高くディスクキャッシュの利用に適するファイルが優先的に利用することが考えられる。

### 3. 負荷適応型ディスクキャッシュ制御機能

以下に負荷適応型ディスクキャッシュ制御機能の概要を示す(図1参照)。以下でディスクキャッシュの負荷とは、ディスクキャッシュへのロードの発生および発生の可能性のことをいう。

(1) ディスクキャッシュの使用に関する優先度(USE:必ず使用する、AUTO:使用するか否かはシステムが決定する)を、各ファイルの重要度やアクセス性能に対する要求に応じてユーザが定義する。局所性が低いファイルにはAUTOを指定するべきである。

(2) ディスクキャッシュ全体のヒット率をモニタする。

(3) モニタの結果、ヒット率が安定/上昇傾向にある場合、ディスクキャッシュの負荷は低いと判断し、すべてのファイルにディスクキャッシュの使用を許可する。

(4) モニタの結果、ヒット率が下降傾向にある場合、ディスクキャッシュの負荷は高いと判断し、高優先度(USE)ファイルにのみ使用を許可して、低優先度(AUTO)ファイルには使用を禁止する。

(5) (3)、(4)での判定に基づき、キャッシュモードをOSへ指示する。

以上により、その時々々のディスクキャッシュの負荷に応じてディスクキャッシュの利用の許可/禁止を動的に制御し、局所性が低い性質の悪いファイルからの悪影響を防止する機能を実現する。

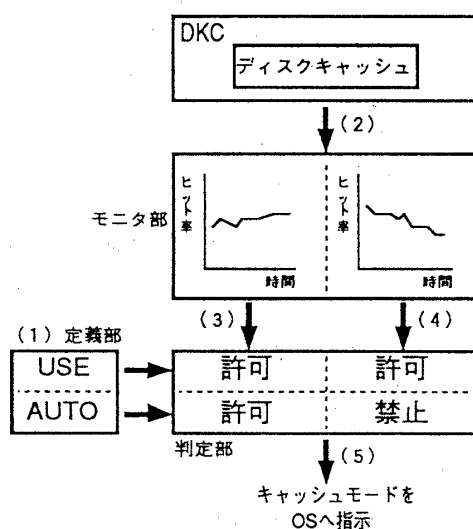


図1 負荷適応型ディスクキャッシュ制御機能の概要

#### 4. 評価用ベンチマークプログラム

計算機システムは、実際の負荷と同様の負荷を与えた環境で評価するのが望ましい。しかし、現実のシステムで使われるプログラムを同じ環境で動作させて実測することは難しく、代わりに、現実の負荷の特徴を抽出した人工的な負荷を用いて評価を行なうことが考えられる。

ディスクキャッシュの性能はヒット率に左右され、ディスクキャッシュはLRU方式により管理されるので、ヒット率はファイルアクセスの局所性に左右される。従って、ディスクキャッシュを有するシステムの性能を評価するには、ファイルアクセスの局所性の性質を反映した負荷を用いるのが望ましい。

そこで、以下の手法により、負荷とするベンチマークプログラムを開発した。本プログラムは現実の負荷のファイルアクセスの局所性の性質を反映したものである。

##### 4.1 アクセス時刻に関するモデル化

現実のシステムでのモニタデータから、時間の経過に伴う各ファイルへのアクセス回数の分布を調べたところ、ファイルは大きく次の2種類に分類できる。

###### (1) 一様型ファイル：

全時刻に渡って平均的にアクセスが発生するファイル。時間的な局所性が低いファイルである。

アクセス間隔が正規分布に従うと仮定しモデル化した。

###### (2) 局所型ファイル：

特定時刻の周辺に集中してアクセスが発生するファイル。時間的な局所性が高いファイルである。

集中して発生したアクセスのかたまりを「アクセス群」としてとらえ、アクセス群の分布のモデル化を考える。時間区間毎のアクセスの発生の有無を調べ、アクセスがあった場合には、当該時間区間にはアクセス群が発生しているものとみなし、アクセス群の発生を

$$\lambda = (\text{アクセス群が発生していた時間区間数}) / (\text{総時間区間数})$$

のポアソン分布でモデル化した。

##### 4.2 アクセス領域に関するモデル化

少なくとも1回はアクセスのあったトラック（これをアクティブトラックと呼ぶ）のすべてに渡って均等にアクセスが発生するものとし、各アクティブトラックへのアクセス回数の分布を

$$\lambda = (\text{総アクセス回数}) / (\text{アクティブトラック数})$$

のポアソン分布でモデル化した。

#### 5. 評価

##### 5.1 測定環境

本機能を汎用大形OSであるHITAC VOS3/AS 上に試作し、ボリューム単位に優先度 (USE/AUTO) を指定して、前記のベンチマークプログラムにより性能評価を実施した。実測は32MBのディスクキャッシュを装備したDKCに8ボリュームを接続したシステムで行なった。

##### 5.2 測定結果

###### (1) 全ボリュームのヒット率 (図2)

図2に従来方式と提案方式との全ボリュームでのヒット率の比較を示す。負荷適応型ディスクキャッシュ制御機能の適用による、ヒット率の低下はないといえる。

###### (2) 高優先度ボリュームのヒット率 (図3)

図3に従来方式と提案方式との高優先度ボリュームのヒット率の比較を示す。高優先度ボリュームのヒット率は、順次アクセスファイルではほとんど変化がないが、ランダムアクセスファイルにおいては提案方式の方が従来方式よりも4%程度向上する。

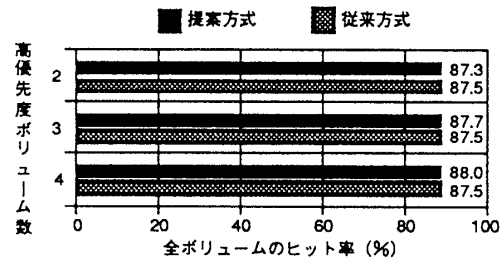


図2 全ボリュームのヒット率の比較

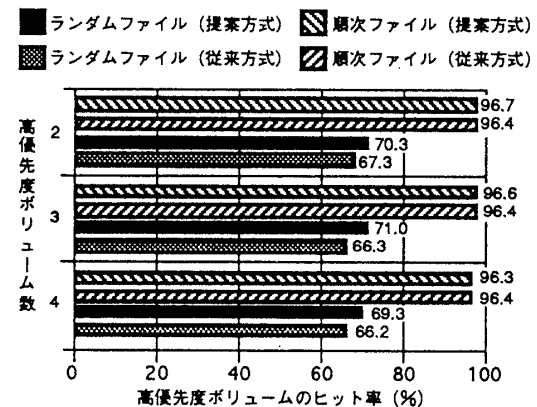


図3 高優先度ボリュームのヒット率の比較

#### 6. おわりに

負荷状況に応じてディスクキャッシュの利用を動的に制御する負荷適応型ディスクキャッシュ制御機能を提案した。実測の結果、トータルヒット率の低下はなく、高優先度ファイルのヒット率はランダムアクセスファイルの場合に向上することを確認した。また、評価に用いたベンチマークプログラムについても述べた。

##### 【参考文献】

- 1) Smith A. J. : Disk Cache - Miss Ratio Analysis and Design Considerations, ACM Trans. on Computer Systems, Vol. 3, No. 3, pp. 161-203 (1985)
- 2) Montgomery C. A. : Dynamic Cache Management, Proc. of the CMG '90 (Dec. 1990, Orland), pp. 662-670 (1990)