

カートリッジ磁気テープライブラリの制御方式†

小林 隆^{††} 栗原 謙 三^{††}
里山 愛^{††} 小 菅 稔^{†††}

金融、証券、電力などの分野では大規模なオンラインシステムの開発が進んでいる。それに伴い、DB バックアップ、各種統計処理などに利用する磁気テープの量はますます増大し、現状では、1日数千巻にもおよび、このため、テープの検索および掛け替え操作を自動化したいというニーズが強い。そこで、テープ約6,500巻を収納する自動倉庫機能と、ドライブ装置最大32台に対してテープを自動的にマウントする機能を有するライブラリ装置を開発した。本ライブラリ装置では、高信頼性および高性能確保のための一手段として、テープの運搬を行うためのアクセッサを二重化し、しかも、それらを並列動作させる。この際、高い応答性と処理性能を確保するためには、2台のアクセッサが互いに他の動作を邪魔する、いわゆる、「干渉」を回避することが不可欠である。今回、この課題を解決するために、ホスト計算機から要求された磁気テープに対して、最適なドライブ装置とアクセッサを割り当てる干渉回避制御方式を開発した。本論文では、この制御方式を説明するとともに、シミュレーションにより定量的な効果を示す。

1. はじめに

金融、証券、電力など各種の分野において、大規模なオンラインシステムの開発が進んでいる。それに伴い、データベース、そのバックアップデータ、あるいは、ジャーナルなどのデータ保管量が急速に増大している。多くの利用者は、比較的使用頻度の高い少量のデータ、例えば、データベースの最新データをアクセス速度の速い磁気ディスクに記憶し、バックアップデータを始めとするその他の大部分のデータを磁気テープに記憶している。磁気テープを使用するメリットは、記憶コストがその他の記憶媒体と比較して桁違いに安い点にある。デメリットは、テープの検索および掛け替え操作が人手により行われるために多大な労力を要する点にある。ところで、最近、計算機のデータ処理量が増大するのに伴い、このデメリットが急激にクローズアップされてきた。すなわち、1日あたりに利用するテープ量は数千巻にもおよび、テープ操作の要求はピーク時に数10秒に1回の割合で発生するようになってきた。テープ操作は、今や、作業員に対して精神的苦痛と肉体的疲労感を与える超過酷な労働と化した。

このような背景から、われわれは、カートリッジテープ約6,500巻を収納する自動倉庫機能と、ドライブ

装置最大32台に対してテープを自動的にマウントする機能を有するライブラリ装置を開発した。本ライブラリ装置は、オンラインシステムの中核となるべきものであるため、まず、無停止という重要な使命を担っている。さらに、応答性能と処理性能は少なくとも現状以上のレベルを確保しなければならない。このような高信頼性および高性能確保のための一手段として、本ライブラリ装置では、テープのハンドリングのための機構（以降、アクセッサとよぶ）を二重化し、しかも、それらを並列動作させる。ただし、設置スペース、製造コストなどの制約により、2台のアクセッサがライブラリ内に設置された1本のレール上を走行する構造としている。

さて、2台のアクセッサが互いに他を邪魔することなく独立に動くことができれば、アクセッサ1台による運用時に比べて2倍の性能が発揮できる。ところが、実際は、前述したように1本のレール上を走行する構造であるため、各アクセッサは完全に独立には動けない。運搬経路の決め方、あるいは、運搬作業の割り当て方法により、一方のアクセッサが他の動作を邪魔する、いわゆる「干渉」が多発してしまい、1台分程度の性能しかでないことがある。並列動作による効果を向上するためには、このようなアクセッサ間の干渉を低減することが重要な課題である。

今回、この課題を解決するために、ホスト計算機から要求された磁気テープに対して、最適なドライブ装置とアクセッサを割り当てる干渉回避制御方式を開発した。本論文では、この制御方式を説明するとともに、シミュレーションにより定量的な効果を示す。

† Control Method of Cartridge Magnetic Tape Library by TAKASHI KOBAYASHI, KENZOU KURIHARA, AI SATOYAMA (Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.) and MINORU KOSUGE (Odawara Works, Hitachi, Ltd.)

†† (株)日立製作所システム開発研究所

††† (株)日立製作所小田原工場

2. ライブラリ装置のシステム構成

本ライブラリ装置のシステム構成を、図1に従って説明する。

(1) 収納セル

カートリッジ型テープを1巻ずつ収納するための棚。後述するアクセッサのレールをはさんで2列に並べて設置する。約800巻分の収納セルを1単位としてこれをフレームとよび、最大8フレームまで増設可能である。

(2) ドライブ装置

フレームの裏側に設置する。1フレームあたり最大4台のドライブ装置を設置可能である。収納セルの間に設けた小窓を介して、ドライブ装置にテープを受け渡すことができる。

(3) アクセッサ

ライブラリ内の指定された2点間のテープを運搬するためのハンドリング機構。ライブラリの長手方向に設置したレール上を垂直柱が走行し、その垂直柱に沿ってロボットハンドが走行する。設置スペースの制約のため、2台のアクセッサが1本のレール上を走行する構造となっている。このような構造のため、アクセッサが互いに干渉しあう可能性が高い。例えば、レールの左側に位置するアクセッサが右端の動作を行っている最中には、右側に位置するアクセッサは動作を開始できない。

(4) ライブラリ・コントローラ

ホスト計算機のオペレーティング・システムから、運搬すべきテープ番号、使用するドライブ装置番号、および、マウント/デマウントの区別を受け付け、各アクセッサに対して動作シーケンスを指示する。この際、2台のアクセッサの干渉を回避するための制御が必要となる。

(5) MT コントローラ

ライブラリ装置内のドライブ装置とホスト計算機との間のデータ転送を制御する。

3. 干渉回避問題

まず、アクセッサが実行すべきジョブを定義する。テープを把持する位置を始点とよび、解放する位置を終点とよぶことにする。アクセッサの運搬ジョブとは、待機点から始点までの空走行と始点から終点までの実走行を合わせたものとする。次に、アクセッサの干渉とは何かを定義する。2台のアクセッサが安全上あらかじめ定められた距離限界より接近する可能性がある場合、これを回避するために、いずれか一方のアクセッサが実行中の動作を中断し、必要ならば邪魔にならない位置に待避したのちに、他方のアクセッサが動作を続行する必要がある。このように2台のアクセッサが互いに独立に動作できない状況を「干渉」とよぶ。この干渉を回避する方法を開発することが本論文の主題である。

従来のライブラリシステムでは、信頼性の向上を目

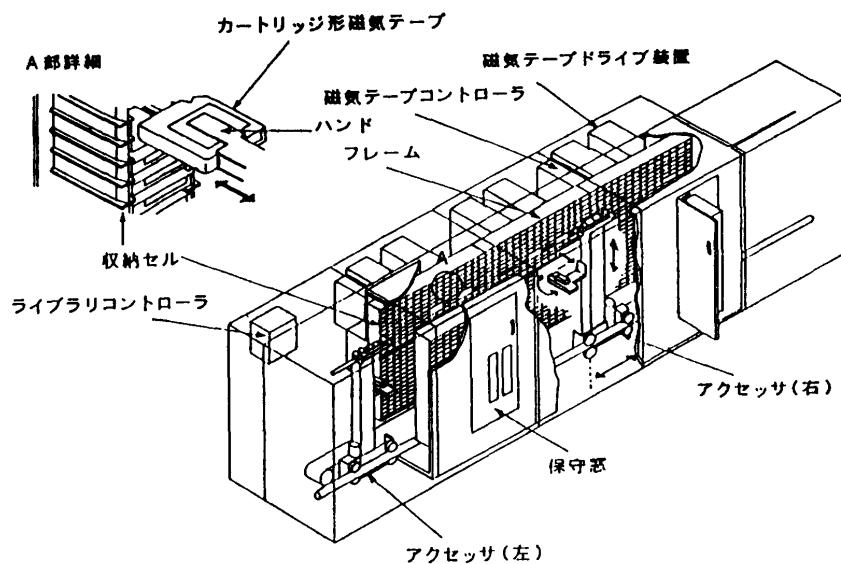


図1 ライブラリ装置のシステム構成
Fig. 1 System constitution of MT library.

的として2台のハンドリング機構を設置していた。しかし、性能向上のためにそれらを同時に移動させることはなく、あくまでも、一方のアクセッサが稼働している間は他方はその邪魔にならない位置で待機する待機予備方式がとられていた。これは、次の理由による。

従来、入出力処理に使用するテープをどのドライブ装置にマウントするかは、ホスト計算機のオペレーティングシステム (OS) が、装置種別あるいは装置間の負荷バランスを基準に決定する。テープの収納位置、ドライブ装置の設置位置などは基準としない。これは、テープオペレーションを人手で行うことを前提としているため、運搬ジョブ実行時の干渉を考慮する必要がなかったからである。ところが、ライブラリ装置の場合には、その構造上の制約により、テープの収納場所とドライブ装置との位置関係が干渉発生の重要な要因となる。したがって、従来のようなドライブ装置割当方法を前提とした場合には、アクセッサ2台を並列動作させてもその効果が小さい。

この問題の解決策として、OS にテープとドライブ装置の物理的位置に関する情報をもたせて、それに基づいてドライブ装置の割り当てを行うことは、OS を大幅に改造することになり、しかも、OS の汎用性を低下させるため得策ではない。そこで、われわれは、ライブラリコントローラがテープとドライブ装置の位置情報を管理し、ホスト計算機の問い合わせにより指定されたテープに対して最適なドライブ装置を選択する、「問い合わせドライブ選択方式」を考案した。図2に從って説明する。

(1) ドライブ装置の問い合わせ：通常、ホスト計算機の OS は、計算機ジョブを実行する直前にその

ジョブで使用するすべてのテープに対してドライブ装置を割り当てる。このとき、本方式では、テープ番号と無作業状態のすべてのドライブ装置の番号をライブラリコントローラに対して通知して、それらのドライブ装置のうちのどれを使用すべきかをコントローラに問い合わせる。

(2) ドライブ装置の選択：ライブラリコントローラは、OS から示されたテープと、ドライブ装置群について、ライブラリ内の位置を調べる。そして、アクセッサ間の干渉が最も少なくなるようなドライブ装置の一つ選択して OS に知らせる。

(3) ドライブ装置の割り当て：ホスト計算機の OS は、上記の方法により、計算機ジョブで使用するすべてのテープに対してドライブ装置を割り当て、ライブラリコントローラに対して、収納セルからドライブ装置までのテープの運搬を指示する。

(4) テープの運搬：ライブラリコントローラは、指示されたテープ運搬ジョブを、2台のアクセッサのうちの最適なものに割り当てる。各アクセッサは、割り当てられたジョブを順次実行する。

以上がテープをマウントする場合の手順である。デマウントの場合は、ドライブ装置が既に決まっているためその選択は不要であり、アクセッサの最適割り当てだけを行う。

この方法により、ホスト計算機の OS がライブラリ内におけるドライブ装置の物理的位置の情報をもっていなくても、干渉が最も少なくなるようなドライブ装置を選択することができる。これにより、2台のアクセッサを並列動作させその干渉を回避することが可能となる。すなわち、干渉回避問題は次のように定義

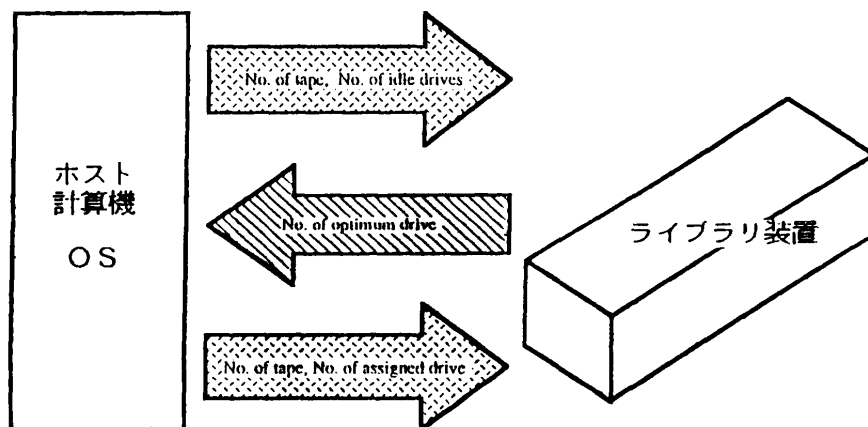


図2 問い合わせドライブ選択方式
Fig. 2 Drive selection method by inquiry.

することができる。

<目的関数>

テープ運搬ジョブの実行時間の総和を最小化するために、干渉を回避すること。

<制約条件>

a. ランダム性：テープマウント要求の発生時刻、テープの収納位置、テープ一巻あたりに記録/再生するデータ量はあらかじめ予測することができずランダムな分布をとるものとする。

b. マウント/デマウントの相違：テープをあるドライブ装置にマウントしたら、処理後、必ずそのドライブ装置からテープをデマウントして元の位置に戻すものとする。マウントジョブとデマウントジョブの相違は、テープ運搬の方向が前者がセルからドライブ装置であるのに対して、後者がその逆であることだけで、その他の相違はないものとする。

c. アクセッサの待機点：各アクセッサは、一つの運搬ジョブの実行を終了したら、その終点で次のジョブが割り付けられるまで待機するものとする。

d. 計算機ジョブの実行性能：ホスト計算機の OS は、計算機ジョブの処理順序に基づいてテープのマウント/デマウント要求をだす。したがって、テープ運搬ジョブを要求の発生順に処理しないことが、計算機ジョブの実行性能を低下させることがある。

<操作変数>

- 要求されたテープに割り当てるドライブ装置、
- 運搬ジョブを実行するアクセッサとその実行順序、
- 干渉発生時の運搬ジョブの中断と実行の動作シーケンス。

4. 干渉回避制御方式

4.1 基本的考え方

前章で述べた操作変数のうち、aおよびbは干渉そのものを回避するための事前策である。これに対して、cは既に干渉が発生した時に極力その影響をなくすための事後処理である。明らかに、前者の方が後者よりも大きな効果を期待できるため、前者の干渉回避策に力点をおく。このように、ライブラリ装置の干渉回避問題を「要求されたテープの処理作業を、干渉を最小化する最適なドライブ装置とアクセッサに割り当てる問題」ととらえれば、これは一種の作業割当問題（ジョブスケジューリング問題）

とみなすことができる。そして、作業の割り当て方と干渉の発生との関係をどのようにモデル化するか、この問題を解決するうえでのポイントとなる。

一般に、作業割当問題とは、作業群をサーバ群により実行するとき、応答性能、処理性能などの評価関数を最適にするように、各サーバにおける作業の処理順序を決定する問題である。本問題は、作業の到着のしかたにより、静的問題と動的問題とに分類できる²⁾。静的問題では、すべての作業がシステム内に同時に到着する。また、通常、作業の処理時間もあらかじめ確定している。この問題は、基本的には組み合わせ最適化問題であり、計算量の爆発を回避することを主目的として、従来から活発に研究が行われている。これに対して、動的問題では、作業はシステム内に断続的に到着し、その到着時刻については統計的なことしかいえない。このため、動的問題は、組み合わせ最適化だけでなく、確率過程の最適制御問題でもある。それだけに、静的問題に比べて解決が困難であるといえよう。これまでに、作業の到着過程がポアソン分布で、処理時間が指数分布であることを前提として、先着順、後着順などの限定された割当方策を対象としてのみ解析が行われている^{1),2)}。

ライブラリ装置の運搬ジョブ割当問題は動的問題に属し、次の理由により従来の解析的方法が適用できない。

- ライブラリに到着する運搬ジョブの内容（始点と終点）が不確定で事前に予測できない。
- ジョブの長さ（運搬時間）は干渉の発生に大きく左右され、しかも、干渉が発生するか否かは、ジョブの割り当て方に依存する。

そこで、ジョブ内容が不確定のもとで干渉の発生を近似的に予測するヒューリスティックな方式を考案した。これを図3に従って説明する。

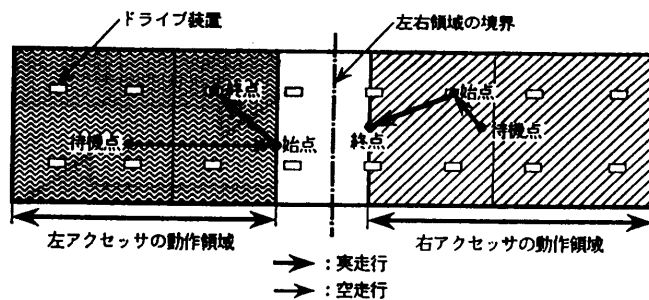


図3 ジョブの干渉モデル
Fig. 3 Job interference model.

同時に実行する二つのジョブが干渉しないための必要条件は、アクセッサの待機点、および、ジョブの始点と終点によって決まる各アクセッサの動作領域が重複しないことである。ここで、左側のアクセッサが占有する動作領域とは、ジョブ実行開始時のアクセッサの待機点、ジョブの始点、終点のうちの最右端の点とライブラリの左端とはさまれた領域である。右側のアクセッサの動作領域とは、待機点、始点、終点のうちの最左端の点とライブラリの右端とはさまれた領域である。ところで、アクセッサの待機点はその直前に実行したジョブに依存するため、同時に実行しようとする二つのジョブだけから干渉の発生を予測することは厳密には困難である。しかし、待機点は、アクセッサがジョブを実行開始した直後に離れる点であるため、その点の周辺にアクセッサが留まっている時間は無視し得る。そこで、ジョブの始点と終点だけを考慮して、次式により干渉が発生しないことを判定する。ここで、ライブラリ装置の左端を原点として、水平方向に右にのびるX座標軸を設定する。

$$\min(XS_r, XD_r) - \max(XS_l, XD_l) > L \quad (4.1)$$

- L : 2台のアクセッサが接近できる限界距離
- XS_r : 右アクセッサが実行する作業の始点のX座標
- XD_r : 右アクセッサが実行する作業の終点のX座標
- XS_l : 左アクセッサが実行する作業の始点のX座標
- DX_l : 左アクセッサが実行する作業の終点のX座標

以下に、この条件式に基づいた干渉回避制御方法を詳細に述べる。

4.2 制御方式

4.2.1 最適ドライブ装置の選択

要求されたテープにドライブ装置を割り当てる時点では、ジョブを実行するアクセッサとジョブの実行順序はまだ決まっていない。しかし、問題の前提条件により、ホスト計算機から要求されるテープはライブラリのすべての収納セルからランダムに選ばれるため、ジョブスケジューリングを行えば、ライブラリの左半分に収納されているテープは左アクセッサが運搬し、右半分に収納されているテープは右アクセッサが運搬できると仮定できる。このような仮

定のもとで、どの二つのジョブを同時に実行しても干渉が発生しないようにするためには、ジョブ実行時にアクセッサが占有する動作領域を最小とるようにドライブ装置を選択するべきである。さらに、仮に干渉が発生してもそれに伴う待ち時間を最小化するために、テープ収納位置からなるべく近いドライブ装置を選択する。以上の議論により、ドライブ選択の基準は次のとおりである。

(1) 動作領域の最小化：ライブラリの左半分に収納されているテープに対しては、そのセルの位置よりも左側にあるドライブ装置を選択し、右半分に収納されているテープに対しては、そのセルの位置よりも右側にあるドライブ装置を選択する。この条件を満たすドライブ装置が一つもない場合には、残りのドライブ装置の中から選択する。

(2) 近接ドライブの選択：上記(1)の条件を満たすドライブ装置が複数個ある場合には、その中からテープの収納位置に最も近接した装置を選択する。また、条件を満たすドライブ装置がない場合も同様に最も近いものを選択する。

以上により、アクセッサ間の干渉発生を低減できるとともに、アクセッサの走行時間を短縮するという付随効果も得られる。

ドライブ装置選択優先順位の具体例を図4に示す。これは、ホスト計算機から要求されたテープが図の□印で示される位置に収納されていると仮定した場合、その時点で使用可能なドライブ装置のうちのどれを優先的に割り当てるか、を示したものである。

4.2.2 最適アクセッサへのジョブ割付け

要求されたテープの運搬作業は、アクセッサに割り付けられるべきジョブとして、実行待ち行列に格納される。この中から、左右のアクセッサが互いに干渉する可能性が低くなるようジョブを割り付けることが必

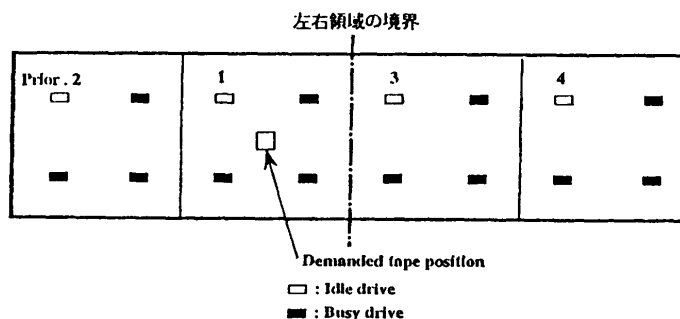


図4 ドライブ装置選択優先順位の例
Fig. 4 Example of priority for MT drive selection.

要である。ただし、第3章で述べたように、ホスト計算機 OS の定めたジョブの実行順序を、極力遵守することが必要である。

前述したドライブ装置の最適選択を行うことにより、各ジョブは、占有する動作領域を最小化した干渉が発生しにくいものとなっている。このため、常に左アクセスがライブラリの左半分に収納されたテープを、右アクセスがライブラリの右半分に収納されたテープを運搬していればアクセスの動作領域は重複せず干渉は発生しない。ところが、次のような場合に干渉が発生する可能性がある。

(a) 境界線付近でのジョブの実行：左右のアクセスが、各々、左右のセルに収納されたテープを運搬したとしても、2台が同時に境界線付近でジョブを実行する場合には動作領域が重複することがある。

(b) 応援ジョブの実行：ホスト計算機から要求されるテープの収納位置はランダムであるため、左半分に収納されているテープ、あるいは、右半分に収納されているテープばかりが連続して要求される場合がある。このような場合、一方のアクセスが他方の応援を行うために境界線を越えることがある。

最適アクセスへのジョブ割付けでは、以上二つの原因で発生する干渉を、次の方法により回避する。

(1) 接近ジョブ実行の回避：2台のアクセスが互いに接近した位置でジョブを実行しないように、(4.1) 式の条件を満たすジョブを優先して割り付ける。この条件を満たすジョブが複数個ある場合には、OS から指定された実行順序を遵守するために、マウント/デマウント要求の到着順に割り付ける。また、特定のジョブが沈み込み時間実行を待たされるのを防ぐために、あらかじめ定められた回数以上に先を越されたジョブは、その次の割付け時点で最優先で割り付けることにする。

(2) 非効率ジョブの同時実行の禁止：干渉に伴う待ちあるいは待避動作が多発することによって、二つのジョブを並列に実行するよりもシーケンシャルに実行するほうが効率が良い場合がある。すなわち、割り付けようとしているジョブの始点と終点の両方とも、ジョブ実行中のアクセスの動作領域内にある場合である。したがって、この場合にはアクセスにジョブを割り付けず、実行中のジョブが終了した後でその保留されたジョブを割り付ける。

4.2.3 アクセスの動作制御

以上に述べた2階層の最適化を行うことにより、干

渉発生頻度は非常に低くなるが、それをゼロにすることはできない。そこで、干渉が発生した場合でもその待ち時間が極力短くなるように、アクセスの待ちと待避動作の実行シーケンスを決定する。ただし、アクセスの動作を細分して停止と起動を繰り返しても、それに伴うオーバーヘッドによりかえって性能が低下するため、次のような単純な方法で制御する。

(1) アクセスのジョブを、空走行動作（待機点から始点までテープを取りに行く動作）と実走行動作（テープを始点から終点まで運搬する動作）とに分け、各動作の開始時にだけ干渉が発生するかどうかのチェックを行う。

(2) 各アクセスは、自分が動作を開始する前に、最悪の場合に相手とどのくらい接近するかを見積もる。その結果、干渉が発生する場合は相手の動作終了を待つ。この時に、待機点が相手の動作領域内にある場合は、領域外まで移動してそこで待機する（これを待避とよぶ）。そうでない場合は動作を開始する。このように待避動作を行うことにより、アクセスのデッドロックを防止することができる。具体的には、次式により干渉が発生しないことを判定する。

$$\min(XP_i, XD_r) - \max(XP_l, XD_l) > L \quad (4.2)$$

L : 2台のアクセスが接近できる限界の距離

XP_r : 右アクセスの現在位置の X 座標

XD_r : 右アクセスが実行中あるいは実行しようとしている動作の目標位置の X 座標

XP_l : 左アクセスの現在位置の X 座標

XD_l : 左アクセスが実行中あるいは実行しようとしている動作の目標位置の X 座標

5. 評価

5.1 評価条件

以上に述べた制御方式の効果をシミュレーションにより評価した。評価条件は表1に示すとおりである。以下にその概要を説明する。

(1) 利用形態

ライブラリ装置の利用形態を、「ホスト計算機からの要求がいつ発生し、各要求において何巻のテープに、どのくらいのデータ量をリード/ライトするか」、すなわち、入出力要求発生間隔、同時要求テープ巻数、テープ1巻あたりのリード/ライトデータ量という3項目のデータによりモデル化する。この3項目のデータが具体的にどのような値をとるかは、ライブラリ装置をどのような目的で利用するのかによって種々に

表 1 評価条件
Table 1 Condition of evaluation.

| 条件項目 | 値 | |
|-------|----------------|---|
| 利用形態 | 入出力要求発生間隔 | 平均 λ [巻/分] の指数分布 |
| | 同時要求テープ数 | 1-5 [巻] ランダム |
| | 1巻あたり R/W データ量 | 0-200 [MB] ランダム |
| | テープ収納位置 | 全棚にランダム分布 |
| ハード諸元 | ライブラリ製品タイプ | 最大構成タイプ (W) 16m (D) 1.4m (H) 1.9m ドライブ装置: 32台 MT コントローラ: 4台 |
| | アクセッサ性能 | 走行速度(水平): 1.5 [m/秒] (垂直): 1.0 [m/秒] 加速時間: 0.8 [秒] 減速時間: 1.4 [秒] |
| 元 | ドライブ性能 | テープ装着時間: 10 [秒] テープ取外時間: 10 [秒] データ転送速度: 2.7 [MB/秒] テープ巻戻時間: Max. 40 [秒] |

異なる。ライブラリ装置の利用目的として典型的なものは、バッチジョブの自動実行とデータベースの自動バックアップであろう。バッチジョブの自動実行に利用する場合は、入出力要求は不定期に発生し、各要求で用いるテープの巻数、リード/ライトデータ量もランダムな値をとる。これに対して、データベースの自動バックアップに利用する場合は、入出力要求は連続的に発生し、各要求ではテープを1巻ずつ用いてテープエンドまでデータをライトする。前者の利用形態は後者に比べてテープの運搬ジョブを頻繁に必要とするため、干渉が発生しやすい。そこで、悪条件のもとでの効果を調べるために、前者の形態を想定して評価を行った。具体的には次の条件で行った。

- 入出力要求の発生間隔は指数分布に従う。
- 1回の入出力処理では1巻から5巻までのテープをランダムな数だけ要求する。
- テープにリード/ライトするデータ量は0MBから200MB(テープの最大容量)までの値をランダムにとる。
- 要求されるテープはライブラリの全セルにランダムに収納されているものとする。

(2) ハード諸元

ライブラリ装置のタイプは、テープ6,500巻収納、ドライブ装置32台搭載の最大構成タイプとした。アクセッサの走行特性は表1に示すとおりであり、起動

時の加速と停止時の減速は線形的に行うものとする。ドライブ装置の動作特性も表1に示す。テープ装着および取外し時間は一定であり、リード/ライト時間および巻戻し時間は処理データ量に比例するものとする。

(3) 比較対象

提案した制御方式を次の三つの方式と比較する。

a. ジョブ割付け単独方式: 問い合わせドライブ決定方式により、最適なドライブを選択する効果をみるために、これを行わずにアクセッサへの最適ジョブ割付けだけを行う方式を評価する。

b. 待機予備方式: 従来方式と比較するために、アクセッサ1台でサービスする待機予備方式を評価する。

c. FIFO方式: アクセッサ2台を最悪な制御方法で並列動作させる場合の性能をみるために、ドライブ装置をランダムに選択し、アクセッサに対してジョブを到着順に割り付けるFIFO(First In First Out)方式を評価する。

5.2 評価結果

図5に応答時間、図6にテープ運搬ジョブの処理時間の評価結果を示す。グラフの横軸はマウント要求の到着率を示す。ここで、マウント要求の到着率とは、入出力要求(すなわち計算機ジョブ)の発生率と同時要求テープ巻数との積である。また、各マウント要求に対応して、デマウント要求が、テープ装着、リード/ライト、テープ取外を行った後に発生するものとする。

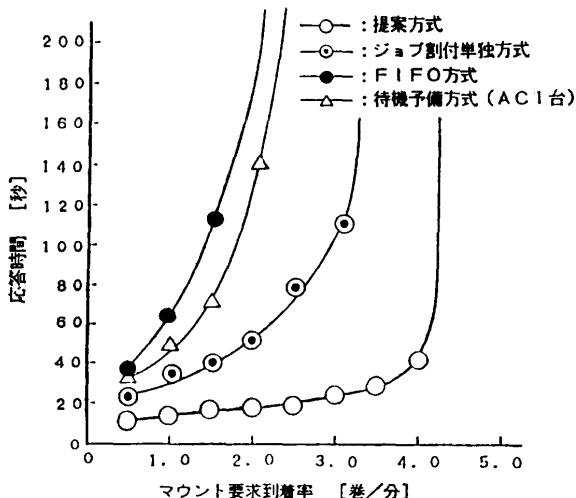


図 5 応答時間のシミュレーション結果
Fig. 5 Response time by simulation.

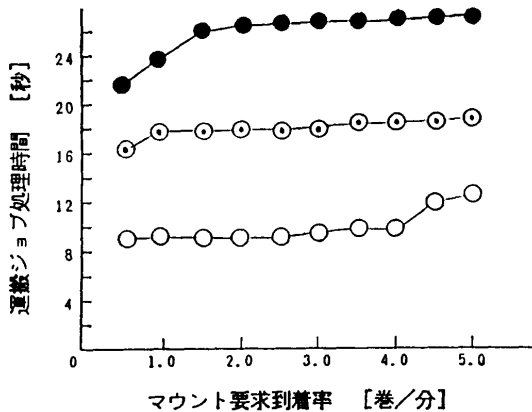


図6 運搬ジョブ処理時間のシミュレーション結果
Fig. 6 Job processing time by simulation.

図5を見ると、提案方式によれば他の三つの方式に比べて応答時間を大幅に低減できることがわかる。提案方式では、ホスト計算機からのマウント要求の到着率が4.0 [巻/分] までは、要求されたテープを平均40秒以下でマウント完了できる。これに対して、待機予備方式およびFIFO方式では、マウント要求の到着率が1.0 [巻/分] 付近の低いレベルでも40秒以上の応答時間がかかり、到着率2.0 [巻/分] を越えると、もはや実用的な時間では処理不可能になってしまう。ジョブ割付単独方式では、待機予備方式およびFIFO方式に比べて性能の向上がみられるが、せいぜい、アクセッサ1.5台分の処理性能である3.0 [巻/分] しか処理できない。これに対して、提案方式では、2台のアクセッサがほとんど干渉することなく並行動作することができ、4.0 [巻/分] まで処理できる。

また、図に示すように、FIFO方式は干渉に伴う待ちおよび待避動作が多発するため、アクセッサ1台でサービスする待機予備方式よりも性能が悪くなる。

このように提案方式の効果が顕著なのは、図6に示すように、マウント要求の到着率が増加しても干渉をほぼゼロに抑え、ジョブ処理時間を10秒以下に保てるからである。これに対して、他の方式では、マウント要求の到着率が低い時点でもジョブ処理時間が提案方式の1.5倍以上にもなる。そして、到着率が増加するのにもなって着実に増加してしまう。以上により、干渉回避のためのドライブ選択およびジョブ割付けが効果的に働いていることがわかる。

6. おわりに

磁気テープライブラリ装置に搭載された2台のアク

セッサを高効率に並列動作させるための干渉回避制御方式を開発した。本制御方式によれば、アクセッサ間の干渉を大幅に低減し、応答性能とスループットを向上できることを、シミュレーションにより確認した。

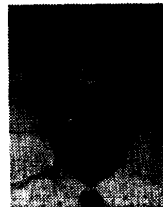
謝辞 本研究の機会を与えていただき、また有益な示唆をいただいた、当社システム開発研究所の堂免信義所長、中尾和夫主管研究員、小田原工場の宮崎道生主管技師長、ならびに日立コンピュータ機器(株)の土井隆部長をはじめとする関係者各位に深謝します。

参考文献

- 1) 木瀬, 塩山: 確率スケジューリング問題について, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 32, No. 11, pp. 750-757 (1987).
- 2) Conway, R. W.: *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley (1967).
- 3) Kobayashi, H.: *Modeling and Analysis*, Addison-Wesley (1978).

(平成2年7月18日受付)

(平成4年3月12日採録)



小林 隆 (正会員)

1956年生。1980年早稲田大学理工学部機械工学科卒業。1982年同大学大学院修士課程修了。同年、(株)日立製作所に入社し、システム開発研究所に勤務。現在、離散系の制御方式に関する研究に従事。計測自動制御学会、電子情報通信学会、IEEE各会員。



栗原 謙三 (正会員)

昭和23年7月2日生。昭和47年3月早稲田大学理工学部機械工学科卒業。昭和49年3月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年4月、(株)日立製作所に入社し、システム開発研究所に勤務。現在、同研究所主任研究員。離散系システムのモデリング、制御に興味を持ち、生産システムの計画・管理技法、マイコン組込み制御装置の高信頼化などに関する研究に従事。工学博士。日本機械学会、計測自動制御学会、電子情報通信学会、法とコンピュータ学会、IEEE各会員。



里山 愛 (正会員)

昭和 62 年日本女子大学家政学部
家政理学科一部数学系卒業。同年、
(株)日立製作所システム開発研究所
に入社。ファイルシステムの制御方
式の研究開発に従事。



小菅 稔

1958 年生。1980 年東京大学工学
部電子工学科卒業。同年、(株)日立
製作所に入社し、小田原工場に勤
務。現在、磁気テープサブシステム
のリードライトシステム、および制

御系の開発設計に従事。