

ビデオサーバにおける特殊再生のための動的負荷バランス制御法

阪本 秀樹[†] 鈴木 偉元^{††}
西村 一敏^{††} 田中 清^{††}

同時多重数の点で優れているストライピング方式に基づいたビデオサーバにおいて、通常再生に加え、ジャンプ、高速再生、ポーズといった特殊再生を実行した場合、ビデオサーバ内のディスク装置間に負荷の不均衡が増大する。その結果、ビデオサーバ全体の利用率があまり大きくない場合にも、端末での再生途切れが発生しやすくなる。本論文では、各特殊再生機能の実現において若干の自由度を許容し、各ディスク装置の瞬時の読み出し処理待ち行列長等に基づいて特殊再生の実行に動的な制御を適用する方法を提案する。その制御法により、特殊再生を実行した場合にも、ビデオサーバ内のディスク装置間の負荷バランスは保たれ、ビデオサーバの利用率がより大きい値になるまで、端末での再生途切れは発生しなくなる。待ち行列網モデルに基づいた計算機シミュレーションにより、特殊再生全体の3分の1の頻度を有すると想定したジャンプおよびスキップサーチに対してのみ提案制御法を適用した場合には、端末で再生途切れが発生し始めるビデオサーバの利用率は10%以上改善されること、さらに、特殊再生をジャンプ・スキップサーチ/高速再生/スロー・ポーズの3つにクラス分けし、すべてに対して同時に提案制御法を適用した場合には、再生途切れが発生し始めるビデオサーバの利用率や特殊再生実行の正確さの点でさらに改善が見られること等を明らかにした。

A Dynamic Load Balancing Technique for VCR-like Playback Functions in Video Servers

HIDEKI SAKAMOTO,[†] HIDEHARU SUZUKI,^{††} KAZUTOSHI NISHIMURA^{††}
and KIYOSHI TANAKA^{††}

A striping scheme has been proposed for increasing the number of terminals simultaneously accessible to a video server. However, if normal playback is combined with VCR-like playback functions such as jumps, fast-forwards, and pauses in a striped-disk system, the workload on the disks could become unbalanced or skewed. This paper proposes a new method for controlling the load balance of the disk drives in video servers when VCR-like playback functions are used. In this method, the execution of VCR-like playback functions is controlled based on the length of the video segment read queue at each disk drive in the video servers. Computer simulations based on a queueing network model of a striped-disk system showed that when this control method is applied only to jump and skip-search functions, which are assumed to be generated once every three VCR-like functions on average, the overall video server utilization rate at which interruptions begin to occur at terminals is improved by over 10%. Also, when this control method is applied to all of the VCR-like functions with a classification, the overall video server utilization rate that causes interruptions, and the execution accuracy for VCR-like playback functions are both improved.

1. はじめに

ビデオサーバにおいて性能面で最も重要な要素は、同時に提供可能なビデオストリーム数（多重数）である。多重数を増やす技術としては、各ビデオコンテンツを小さなビデオセグメントに分割し、それを複数の

ディスク装置に分散蓄積するストライピング方式が提案されている¹⁾。ストライピング方式では、端末で通常速度でのビデオ再生時、ビデオサーバ内ではビデオセグメントごとに読み出し先のディスク装置が順番に移り変わるため、全ディスク装置の読み出し負荷はバランスされる。したがって、ビデオサーバ内のディスク装置数を増加させることでビデオサーバ全体のスループットが向上し、理論上は多重度を無限に上げることが可能となる²⁾。

一方、ビデオサーバにおいて機能面での重要な要素

[†] NTT・OCN 事業部

NTT OCN Service Division

^{††} NTT ヒューマンインタフェース研究所

NTT Human Interface Laboratories

としては、ジャンプ、高速再生、ポーズといった特殊再生があげられる^{3),4)}。特殊再生の実現方式については数多くの研究がなされている^{1),5),6)}。しかし、基本的にはどの特殊再生実現方法においても読み出しストリームが不連続となるため、ストライピング方式と組み合わせた場合には、ビデオサーバ内で読み出し先のディスク装置の順番が不規則に入れ替わり、瞬間的なディスク装置負荷の不均衡が発生する。その結果、ビデオサーバ全体の使用率があまり大きくない状況でも、端末では再生の途切れが発生しやすくなる⁷⁾。この問題を克服するため、高速再生（スキップサーチ）の倍速値やポーズの継続時間等の実行パラメータをディスク装置数の整数倍に整合させる方法⁸⁾や、さらに、逆にあらかじめ特定の倍速値でのスキップサーチを実現するためある規則に従ってビデオセグメントを蓄積しておく方法⁹⁾等が提案されている。しかし、これらの方法では特殊再生の実行パラメータが直接ビデオサーバ内のディスク装置数等の設計要素とリンクするため、ユーザ要求を満足させる適切な特殊再生機能を実現しようとすると、ビデオサーバの設計が大きく制約されるものであった。

そこで本論文では、ビデオサーバ設計上の自由度に影響を与えることなく、ストライピング環境化で特殊再生を実現する方法を提案する。提案する方法は、各特殊再生機能の実現において若干の自由度を許容し、特殊再生の実行時に、計算上読み出し処理を行うべき目標ディスク装置との距離と、ビデオサーバ内の各ディスク装置の瞬時の読み出し処理待ち行列長とから計算される評価関数に基づいて、各特殊再生実行時に実際に読み出し処理を行う割当てディスク装置を動的に決定するものである。本制御法の特徴は、特殊再生実行時に簡単な制御を適用するのみで、ビデオサーバ内の各ディスク装置の負荷バランスが動的に保たれ、ビデオサーバの使用率がより大きい値になるまで端末での再生途切れが発生しにくくなる点である。

以下、2章で問題となるストライピング方式と特殊再生とを組み合わせた場合のディスク装置間の負荷不均衡発生メカニズムを明らかにし、3章では、それを解決するための制御法を提案する。4章では、待ち行列網モデルに基づいた計算機シミュレーション解析により、提案制御法の効果を解明する。

2. ストライピング方式と特殊再生

2.1 通常再生時のストライピング方式の動作

ビデオサーバでの多重数を増やすために使用されているストライピング方式の動作原理を図1に示す。

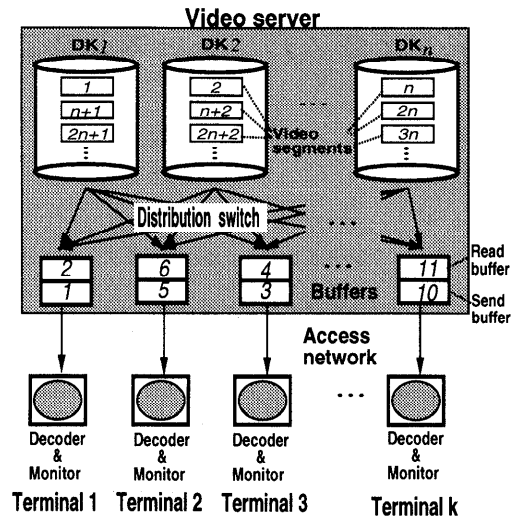


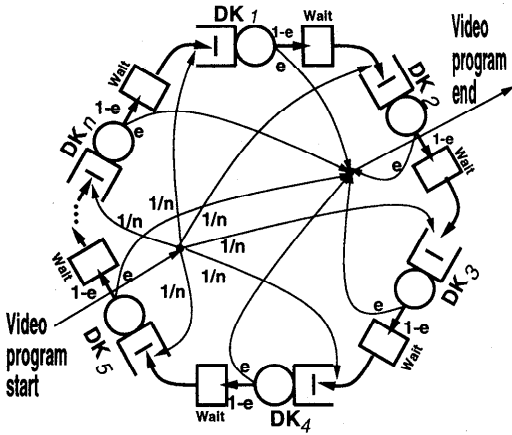
図1 ストライピング方式の動作原理

Fig. 1 Video segment striping.

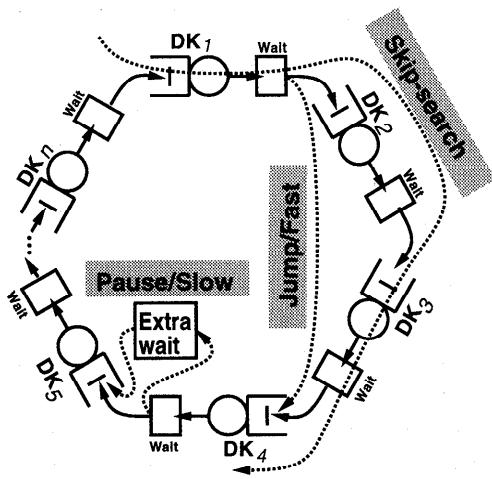
ストライピング方式では各ビデオ番組を小さなビデオセグメントに分割し、それをビデオサーバ内の各ディスク装置に分散して蓄積しておく。端末からビデオ番組要求があった場合には、送出すべきビデオ番組を、 DK_1, DK_2, \dots, DK_n のように蓄積された順番に各ディスク装置から読み出し、分配スイッチで転送経路を切り替えてその端末に送出する^{1),2)}。このディスク装置から1回に読み出すビデオデータ量であるビデオセグメントは、そのサイズが小さすぎるとシーク時間のようなディスク装置での読み出しオーバーヘッドが原因で読み出し効率が劣化し、また逆に大きすぎると1回の読み出しにかかる時間が増大してサーバでの応答時間が長くなってしまふ⁹⁾。そこで、一般的には、ディスク装置での読み出しオーバーヘッド時間が問題とならない範囲内で比較的小さいデータ量（数百kB）に設定されている^{10),11)}。

以下の前提条件をおくことにより、ストライピング方式に基づいたビデオサーバにおいてビデオ番組の通常速度再生時の各ディスク装置の読み出し動作を図2(1)に示すような待ち行列網モデルで表現することが可能となる。

(前提1) 各ビデオセグメントは n 台のディスク装置すべてにわたって順番にサイクリックに蓄積されている。また、各ビデオ番組の先頭ビデオセグメントは、必ずしも DK_1 のみではなく、 n 台のディスク装置に分散して配置されているとする。このとき、蓄積されるビデオ番組数はディスク装置数に比べて十分大きく、また、あらかじめ各ビデオ番組の人気を考慮したうえ



(1) Queuing network model for only normal playback.



(2) Queuing network model for both normal playback and VCR-like playback functions.

図2 ストライピング方式の待ち行列網モデル
Fig.2 Queuing network models for the striping technique.

で、番組開始要求直後に各ディスク装置がアクセスされる確率が均一となるよう、各ビデオ番組の先頭ビデオセグメントが配置されているものとする。

(前提2) 各ディスク装置でのビデオセグメント読み出し処理は先着順により実行される。また、その読み出し処理待ちの行列長には制限はない。

(前提3) 各端末における番組終了要求は、それまでに視聴した時間とは独立に、つねにはほぼ同確率で発生すると考えられる。したがって、1つのビデオセグメントを見るごとの番組終了要求発生確率を一定値 e とおき、ビデオ番組視聴時間(番組の再生開始から終了まで)は、1つのビデオセグメントの再生時間 V を単

位時間として平均 $1/e$ の幾何分布に従うとする。モデル簡略化のため、各端末からの番組終了要求は、ディスク装置でのビデオセグメント読み出し処理終了直後に発生するとする。

(前提4) ビデオサーバ内のバッファは、各端末ごとにビデオセグメントの読み出し用(Read buffer)と送信用(Send buffer)の2面分のバッファから成る。ある1つのビデオセグメントをディスク装置から読み出し用バッファに読み出した後は、その前に読み出したビデオセグメントが送信用バッファから端末へ完全に送信されるまで、次のディスク装置へのビデオセグメントの読み出し要求を発行しない。

図2(1)の待ち行列網モデルでは、まず、各端末からのビデオ番組開始(Video program start)要求によって外部から到着したカスタマは、(前提1)により確率 $1/n$ で均等に分配され、 n 台のディスク装置の読み出し処理待ち行列 $DK_1 \sim DK_n$ のいずれかに入力される。各ディスク装置での読み出し処理待ち行列 $DK_1 \sim DK_n$ では、(前提2)により、カスタマは先着順に処理が実行される。(前提3)により、各ディスク装置での読み出し処理待ち行列 $DK_1 \sim DK_n$ において、処理が終了した直後、確率 e で端末よりビデオ番組終了(Video program end)が要求され、カスタマは外部へ退去していく。一方、残りの確率 $1-e$ で番組が継続された場合には、(前提4)により、もし、その読み出したものの1つ前のビデオセグメントがまだ送信用バッファにある場合には、それが端末に送り終わるまで待ち合わせ(Wait)に入る。これによって端末における再生速度とビデオサーバにおける読み出し速度が一致する。送信用バッファが空いた時点で、カスタマはただちにWaitを通過し、次のディスク装置での読み出し処理待ち行列に入力される。以後、読み出し処理待ち行列、番組終了判断、端末への送信用バッファの空き待ちWaitが順番に繰り返される。

各ビデオ番組は固定ビットレートでかつその平均ビットレートが同じであるとすると、通常再生時の各端末でのビデオセグメントの消費の速度は等しい。したがって、図2(1)の待ち行列網モデルにおいては、読み出し処理待ち行列 $DK_1 \sim DK_n$ のループに一度入力されたカスタマは、Waitによって速度が調節され、定常状態ではすべてループ内を同じ速度で移動することとなる。ここで、図2(1)の待ち行列網モデルにおいて、端末からの新規のビデオ番組再生要求により外部からカスタマが到着した場合には、その読み出し処理を実行するディスク装置へ瞬間的に読み出し処理が集中する可能性がある。しかし、我々の行ったビデオオ

ンデマンドサービスのフィールド実験¹⁰⁾で、新規のビデオ番組再生要求頻度は、ビデオ番組再生中の特殊再生要求頻度に比較して、かなり頻度が低い(数分の1以下)ことが確認されており、特殊再生を実行しない場合には、ディスク装置間の負荷の不均衡はそれほど問題にならないと考えられる。

2.2 特殊再生時のストライピング方式の動作

ビデオオンデマンドにおける特殊再生は表1に示すようなものが実現されている^{1),10)}。これらの特殊再生実行時のディスク装置の動作例を待ち行列網モデルで示したものが、図2(2)である。

まず、ジャンプはそれまでとは不連続な関係にあるビデオセグメントの再生であるため、不連続な順番のディスク装置の待ち行列に飛ぶことにより表現される。スキップサーチは、たとえば、 DK_1 でビデオセグメントの読み出しを行い、その後 DK_2 をスキップしてまた DK_3 で読み出しを行うというように、短い再生と短いジャンプを交互に繰り返すことにより実現される。高速再生については、いくつかの実現方法が提案されている¹⁾が、実現容易な方法としては、あらかじめ通常再生用のビデオ情報とは別に高速再生専用のビデオ情報(フレームレート、ピットレートともに通常再生用と一致。ただしフレームは間引かれている)を作成しておき、それをビデオサーバ内に蓄積しておく別ファイル方式がある^{10),11)}。別ファイル方式による高速再生では、高速再生要求があった時点で、高速再生用ビデオ情報の対応するビデオセグメントに再生ポイントに移すことから、待ち行列網モデルにおいてはジャンプの場合と同様に不連続な番号のディスク装置の待ち行列に飛ぶことにより表現される。最後にスロー・ポーズについては、通常再生時のWaitの後に、さらにポーズやスローの時間に相当する特別な時間分の休止時間(Extra-Wait)が入ると見なすことができる。

このように、ストライピング方式を採用したビデオサーバにおいて、各種特殊再生を実行した場合、必ず

しも通常再生のように、各ディスク装置の読み出し処理待ち行列からなるループ内を同じ速度で移動するのではなく、ランダムに各ディスク装置での読み出し処理待ち行列間をジャンプしたり、特定時間分の休止(Extra-wait)後に移動したりする。その発生頻度は、端末からの新規のビデオ番組再生要求に比較してかなり大きく、したがって、各端末で通常再生のみを実行する場合に比較して、ビデオサーバ内の各ディスク装置での読み出し処理負荷が瞬間的に不均衡となる可能性が高い。このような瞬間的なディスク装置間の負荷の不均衡は、ビデオサーバ内の全ディスク装置の平均使用率があまり大きくない場合でも、一部のディスク装置の使用率が100%を超える状態を導き、端末でのビデオ再生に途切れが発生する可能性を増大させる。

3. 特殊再生のための動的負荷バランス制御法

3.1 ジャンプおよびスキップサーチの場合

ビデオオンデマンドサービスにおいて、ジャンプおよびスキップサーチについては、主目的がシーンサーチである場合が多い。すなわち、ジャンプ機能には必ずしもビデオ番組上の秒単位の正確な位置への移動機能が求められているわけではなく、また、スキップサーチ機能にはセグメント1つを読み出した後に一定数のセグメントをスキップするという、正確なスキップ動作が求められているわけではない。実際にこれまでに実現された多くのビデオオンデマンドシステムでは、家庭用ビデオデッキの操作ボタンに似せたGUI(Graphical User Interface)をリモコンで操作する場合が多く、ジャンプ先の指定は「ビデオ番組全体の何パーセントの部分」といった相対的な時間位置であったり、スキップサーチは高速/中速/低速のような大まかな倍速値である場合が多い。したがって、ジャンプやスキップサーチ機能実現のために、計算上はディスク装置 DK_t 上に蓄積されているビデオセグメント VS_t (目標ビデオセグメント)の読み出しが必要であったとしても、そのときの各ディスク装置の負荷状態に応じて DK_t の近傍の適切なディスク装置 DK_k を選択し、 DK_k からのビデオセグメント VS_k (割当てビデオセグメント)の読み出しに置き換えることにより、特定のディスク装置への負荷の集中を避けながら、ユーザが求めるシーンサーチのためのジャンプ機能やスキップサーチ機能を実現することが可能となる。

指定されたジャンプやスキップサーチの実現のために計算上必要となる目標ビデオセグメント VS_t に対して、その代わりとなる割当てビデオセグメント VS_k を決定する場合、極力 VS_t と VS_k とのビデオセグメ

表1 ビデオオンデマンドにおける特殊再生機能
Table 1 VCR-like playback functions in video-on-demand services.

名称	機能内容
ジャンプ	ジャンプは同一ビデオ番組内で任意時点へ再生ポイントを変更する。スキップサーチは短いジャンプの連続で擬似的高速再生を行う。
スキップサーチ	
高速再生	表示フレームを間引くことにより、高速再生。
スローポーズ	指定された点から通常再生よりゆっくりとした速度の再生または表示の一時停止を行い、それが解除された時点から通常再生に復帰する。

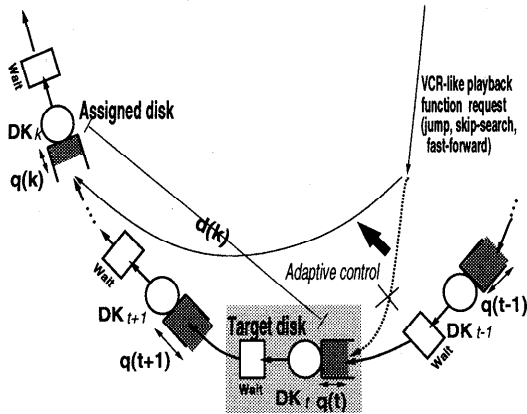


図3 動的負荷バランス制御法
Fig. 3 Dynamic load balancing method.

ント間の距離が短く、かつ全体の各ディスク装置間の処理負荷のバランスがとれることが望ましい。各ビデオセグメントはサイクリックな配列で蓄積されていることを前提としているため（前提1）、ビデオセグメント間距離の評価値としてはディスク装置番号の差を、また、各ディスク装置の瞬時負荷状態の評価値としてそのときの各ディスク装置におけるビデオセグメント読み出し処理待ち行列長を用いる。図3に示すように、 $d(k)$ をディスク装置番号を単位とした本来の目標ディスク装置 DK_t からの距離、 $q(k)$ を処理数を単位としてその時点での各ディスク装置 DK_k での読み出し処理待ち行列長とする。以下の $H_1(k)$ を第1クラス（Jump class）の評価関数として定義し、ジャンプまたはスキップサーチの実現に対して、 $H_1(k)$ を最小とするディスク装置を、割当てディスク装置 DK_k とする。

$$H_1(k) = a_1 d(k) + b_1 q(k) \quad (1)$$

ここで、 $d(k)$ は、目標ディスク装置 DK_t と割当てディスク装置 DK_k との間の最短距離であり、図2(1)の待ち行列ループにおける右回り、左回りのどちらか近い方である。

$$d(k) = \min((n + k - t) \bmod n, (n + t - k) \bmod n) \quad (2)$$

$H_1(k)$ において、重み定数 a_1 と b_1 の比 (a_1/b_1)を指定することにより、実際に読み出しを行う割当てディスク装置 DK_k を決定する際に、各ディスク装置での負荷の均等化を重視するのか、目標ディスク装置 DK_t からの距離（すなわち、本来のジャンプやスキップサーチのより忠実な動作）を重視するのかの選択が可能である。なお、スキップサーチは一連の動作であるため、厳密にはすべてのディスク装置の負荷状態を

考慮して最適化を行う必要があるが、その場合には評価関数が複雑となる。そこで、本論文では、スキップサーチを短いジャンプの連続と考え、スキップごとに $H_1(k)$ の評価を実行することとする。

3.2 別ファイル方式高速再生の場合

ジャンプやスキップサーチに加えて、別ファイル方式による高速再生が要求された場合を考える。前述のように、別ファイル方式による高速再生は、通常再生時に高速再生要求があった場合や、高速再生時に通常再生への復帰要求があった場合に、通常再生用ビデオ情報の対応再生位置と高速再生専用ビデオ情報上の対応再生位置との切替えを行うものである¹¹⁾。高速再生では、ジャンプやスキップサーチの場合と異なり、目標ビデオセグメント位置がずれると、通常再生と高速再生のシーンのつながりが悪くなり不自然となる。したがって、ジャンプやスキップサーチに比較して、より目標ディスク装置 DK_t に近い点に制御を移す必要がある。そこで、高速再生の場合には、第2クラス（Fast-forward class）の評価関数 $H_2(k)$ により、実際の再生位置切替え先である割当てディスク装置 DK_k を決定することとする。

$$H_2(k) = a_2 d(k) + b_2 q(k) \quad (3)$$

このとき、 $a_1/b_1 < a_2/b_2$ とすることにより、第1クラスに属するジャンプおよびスキップサーチは相対的に各ディスク装置間の負荷均衡を重視し、一方、第2クラスに属する別ファイル方式高速再生は相対的に本来の目標ディスク装置 DK_t からの距離を重視することとなる。

3.3 スロー・ポーズの場合

さらに、ジャンプ・スキップサーチ、別ファイル方式高速再生に、スロー・ポーズが加わった場合を考える。スロー・ポーズの実現で困難なことは、スロー・ポーズから通常再生への復帰が要求された場合、復帰を開始する目標ビデオセグメント VS_t の位置をずらすことが許されず、また応答時間についても要求条件が厳しい点である⁴⁾。しかし、ジャンプの場合にはビデオサーバにおいて要求発行前にジャンプ後に使用されるビデオセグメントを先読みしておくことは不可能であるのに対し、スロー・ポーズの場合には、端末からスロー・ポーズが要求されてから通常再生への復帰要求が発行されるまでの間、ビデオサーバにおいて通常再生復帰後に必要となるビデオセグメントを先読みしておくことが可能である。この性質を利用し、以下の2つを実行することにより、スロー・ポーズの実行に際しても、ディスク装置間の負荷バランスのための制御が可能となる。

- 通常再生時に使用する読み出し用バッファ、送信用バッファの他に特別な先読み用バッファを用意し、端末からスロー・ポーズの要求が発行された後も、これまでの通常再生でビデオセグメントを読み出してきたのと同じタイミングで m 面の先読みバッファにビデオセグメントを先読みする。
- 端末から通常再生復帰要求が発行されたとき、その時点で通常再生のためのビデオセグメントの読み出しが可能なディスク装置 ($m+1$ 台)の中から負荷が小さいものを選択し、そのディスク装置から通常再生のためのビデオセグメントの読み出しを開始する。

以後、図4を用いて実際の動作の説明を行う。まず、先読みバッファが存在しないことを想定する。ディスク装置 DK_{t-2} においてビデオセグメント VS_{t-2} の読み出しを行い、その後の Wait が終了した時点 (1つ前の VS_{t-3} のビデオセグメントをちょうど端末に送り終えた時点) で、端末よりスローまたはポーズが要求されるとする。読み終わったビデオセグメント VS_{t-2} は、ただちに送信用バッファに移され、端末に対してはその時点でビデオセグメント VS_{t-2} のスロー再生またはポーズを開始する。それとともに、ビデオサーバ内ではその次のビデオセグメント VS_{t-1} の読み出し要求を発行する。ビデオサーバ内では、そのビデオセグメント VS_{t-1} を読み出し用バッファに読み出した後は、通常再生用の2面バッファが両方とも塞がってしまうため、Extra-wait に入る。その後、端末より通常再生への復帰が要求された場合、ビデオセグメント VS_{t-2} を送り終わった時点で、ディスク装置 DK_t

から未読のビデオセグメントである VS_t の読み出し処理を行うこととなる。このときのディスク装置 DK_t の瞬間的な負荷は必ずしも軽いとは限らず、一時的にディスク装置 DK_t が過負荷状態となる可能性がある。

次に、スロー・ポーズ用として特別な先読みバッファが準備されていることを想定する。図4の同じ時点でスロー・ポーズが指定されたことを仮定する。端末に対しては、同じくスロー・ポーズが指定された時点でビデオセグメント VS_{t-2} のスロー再生またはポーズを開始する。しかし、ビデオサーバ内ではその次のビデオセグメント VS_{t-1} を読み出し用バッファに読み出した後、すぐに Extra-wait に入らないで、先読みバッファを利用してその後も通常再生と同じ速さでディスク装置 DK_t から DK_{t+m-1} まで読み出しを継続し、 m 面のビデオセグメント $VS_t \sim VS_{t+m-1}$ を先読みしておく。この先読み処理においては、任意のタイミングでディスク装置から読み出しを行うと、そのディスク装置が瞬間的な過負荷状態に陥る可能性があるため、タイマ起動等によりそれまでの通常再生と同じペースで読み出しを行うよう制御する。 m 面の先読みが終了した後、端末より通常再生への復帰が要求され、送信用バッファ内のビデオセグメント VS_{t-2} を送り終わった時点を考える。ここで、すでに先読みしている m 面のビデオセグメントをすべて利用するのではなく、 m 面の中から実際に利用する x 面 ($0 \leq x \leq m$) を選択し、それを通常再生のための読み出し用バッファの後ろにつけ、以降通常再生用のバッファを $2+x$ 面であるとすると、これにより、通常再生への復帰後、順次実行していくビデオセグメントの読み出しを、必ずしもディスク装置 DK_t からだけでなく、 $DK_t \sim DK_{t+m}$ の $m+1$ 台のどのディスク装置からでも始めることが可能となる。すなわち、 m 面の先読みを行うことにより、スロー・ポーズからの復帰後の通常再生のためのビデオセグメントの読み出しを開始するディスク装置の選択の幅が1台から $m+1$ 台に広がることになる。なお、本制御法において、過去のスロー・ポーズからの復帰要求の際に、すでに x 面の先読みバッファが通常再生用バッファに組み込まれている場合には、 x 面の先読みはすでに終了しているため、次にスロー・ポーズが要求された場合には、 $m-x$ 面の先読みを行うだけで、 m 面の先読みを行ったのと同じ効果がある。したがって、先読みバッファは各端末ごとに最大 m 面占有されるのみである。また、各端末でスロー・ポーズ以外の特殊再生要求が出された場合には、それまでの先読みデータは無意味となるので、その時点で先読みバッファはすべて解放される。

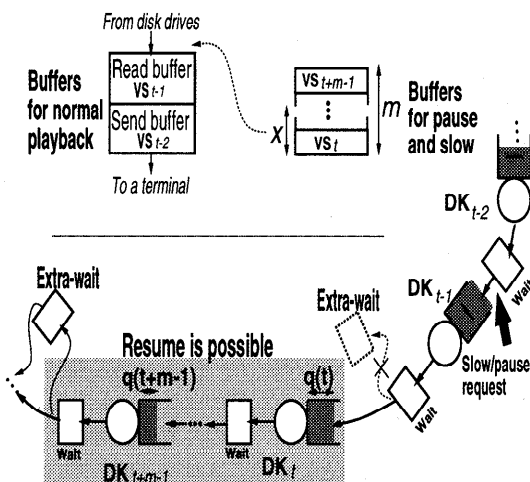


図4 スロー・ポーズの場合の制御法

Fig. 4 Control method in the case of slow or pause.

$DK_t \sim DK_{t+m}$ の $m+1$ 台のどのディスク装置からでも通常再生のためのビデオセグメント読み出し処理の再開が可能な場合、その時点で負荷の軽いディスク装置から開始することで、ディスク装置間の負荷バランスをとることが可能である。また、バッファが少ない場合には、使用する先読みバッファ面を極力小さくする考慮も必要となる。そこで、スロー・ポーズ用に第3クラス (Pause class) を設け、評価関数 $H_3(k)$ により、実際の通常再生のためのビデオセグメントの読み出しを開始する割当てディスク装置 DK_k を決定することとする。

$$H_3(k) = a_3 d_3(k) + b_3 q(k) \quad (4)$$

ここで、距離 $d_3(k)$ は、

$$d_3(k) = \begin{cases} (n+k-t) \bmod n, & 0 \leq (n+k-t) \bmod n \leq m \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases}$$

この場合にも、 a_3/b_3 を設定することにより、他のクラスに対する相対的な距離重視か負荷バランス重視かを指定することが可能である。先読みバッファ面数が十分にある場合には、 m を大きくとり、さらに a_3/b_3 を他のクラスより大きく設定することにより、通常再生に復帰する際の目標ディスク装置 DK_t と割当てディスク装置 DK_k との距離よりも、ディスク装置間の負荷バランスが重視されることとなる。その場合、第3クラスの制御によってもディスク装置間のバランスがとられるため、結果的に他のクラスの動作は、より計算値どおりの忠実な特殊再生動作に近づくことになる。

4. 計算機シミュレーション解析

4.1 特殊再生時の待ち行列網モデル

提案したビデオサーバ内のディスク装置間の動的な負荷バランス制御法の効果を、待ち行列網モデルを用いて検証する。まず、提案した制御法を表現する待ち行列網モデルを構築するために、(前提1)~(前提4)に加えて以下の前提条件をおく。

(前提5) ジャンプ・スキップサーチおよび別ファイル方式高速再生については、通常再生時からのジャンプ先、スキップサーチにおける各スキップ、および別ファイル方式高速再生における通常再生から高速再生へ/高速再生から通常再生への移動について、それ以前のビデオセグメントと、移った先のビデオセグメントは無相関であるとする。なお、スキップサーチについては、実際には多くの場合相関を持つが、倍速値

を途中で変更した場合等も考慮するとモデルが複雑となるため、短いランダムジャンプで置き換えることとした。

(前提6) スロー・ポーズは、Wait後さらにスローポーズの継続時間に相当する、特別な待ち時間 (Extra-wait) が加わる。

(前提7) モデル簡略化のため、各端末からのすべての種類の特殊再生要求は、ディスク装置でのビデオセグメント読み出した後の、待合せ (Wait) 終了直後に発生するとする。

(前提8) 特殊再生は、過去の特殊再生実行からの経過時間とは独立に、つねにはほぼ同確率で発生すると考えられることから、特殊再生要求の発生間隔は、ビデオセグメントの再生時間 V を単位時間として、平均 $1/p$ の幾何分布に従うとする。この場合、「特殊再生要求」とは、ジャンプ・スキップサーチ要求、通常再生からの高速再生要求、高速再生からの通常再生への復帰要求、スロー・ポーズ要求のいずれかのイベントを指し、特殊再生発生間隔とは、種別を問わないこれらのイベント間の最短間隔を意味する。

これらの前提条件に基づき、各ディスク装置を図5に示すモデルで表現することができる。さらに、図2(1)に示した待ち行列網モデルの各ディスク装置を図5に示すものに置き換えることにより、提案した制御法を実行するビデオサーバ全体を表現した待ち行列網モデルとなる。本待ち行列網モデルは、待ち行列長等に基づく適応制御を実行するため、厳密解析や近似解析は困難である。したがって、計算機シミュレーションによる解析を行った。

シミュレーションで使用した各分布は以下のとおりである。まず、番組再生要求による外部からの待ち行列網モデルへの入力は、ビデオサーバの内部状態とは

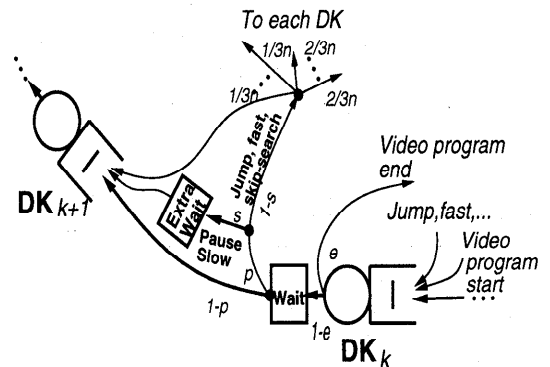


図5 シミュレーションで用いた待ち行列網モデル
Fig. 5 Queueing network model used in the simulation.

無関係に、時間的にはほぼ同確率で独立に発生することから、ポアソン到着とした。同様に、スロー・ポーズもそれまでの継続時間とは独立に、つねにほぼ同確率で通常再生へ復帰すると考えられることから、その継続時間の分布は指数分布とした。また、スロー・ポーズの平均継続時間については、一般的にシーンを目視確認するのに適度と考えられる5秒を想定した。各ディスク装置でのビデオセグメントの読み出し処理時間分布は、文献12)のモデルCと同等のモデルに基づいて算出した値を使用した。モデルCとは、非線形なシーク時間とヘッドスイッチ時間までを考慮したモデルであり、実機での処理時間分布の測定結果とのRMS (Root Mean Square) 誤差は6.2%以下であることが知られている¹²⁾。また、このモデルはディスク装置内のキャッシュの影響を考慮していないが、ビデオサーバの場合には、1回に読み出すデータ量がかなり大きいこと、短時間に同じデータが繰り返し読み出されることは稀であることから、この仮定は妥当であると考えられる。

筆者らが実際に行ったビデオオンデマンドのフィールド実験¹⁰⁾では、特殊再生要求の平均発生間隔は約10秒を下限として、端末やビデオ番組ごとに非常に大きな変動が見られた。したがって、シミュレーションでは、特殊再生要求の平均発生間隔として10秒/30秒/300秒の3段階を想定した。また、特殊再生の種別は、ジャンプとスキップサーチが3分の1、別ファイル方式高速再生が3分の1、スローとポーズが3分の1の頻度でランダムな順番で発生するとした。シミュレーションで使用したモデルパラメータを表2に示す。

ビデオサーバ内におけるディスク装置からのビデオセグメント読み出しタイミングの遅延と、実際に端末において発生するビデオ再生の途切れとの関係については、サーバや端末でのバッファ構成、サーバ・端末間の通信方式、端末での復号器の実装方法等、ビデオオンデマンドシステム全体の設計により大きく異なるため、一般論で議論することは困難である。そこで本

論文では、最も厳しい場合の評価として、少しでもビデオサーバ内で読み出しタイミングの遅延が発生した場合を端末における途切れ発生の基準とする。これは、ビデオサーバや端末内に余分なバッファがなく、また通信路上でもビデオデータをつねに一定ビットレート転送しており、さらにビデオデータが端末に到着したタイミングですぐに復号が開始されるような、システム全体がかなり同期的に動作しているシステムについて当てはまる評価基準である。この構成は、安価なセットトップボックスと同期通信網とを組み合わせたビデオオンデマンドシステムに多く見られる。

シミュレーションにおいては、具体的にはビデオサーバ内の各端末対応のバッファを読み出し用と送信用の2面とし、あるビデオセグメントの送信用バッファからの送信が終了した時点で、次のビデオセグメントの読み出し用バッファへの読み出しが完了していない場合を、端末での再生途切れの発生とカウントした。なお、本論文ではシミュレーションにおける数値計算精度を考慮して、途切れ率のしきい値を0.1%とし、以後シミュレーションにおいては途切れ率が0.1%を超えるときのビデオサーバ使用率の値を議論することとする。

4.2 動的負荷バランス制御法を適用しない場合の途切れ発生率

提案する動的負荷バランス制御法をまったく適用しない場合のシミュレーション結果を図6に示す。同図は、特殊再生の平均発生間隔を変化させたときの端末での途切れ発生率の計算結果である。横軸はビデオサーバ内の各ディスク装置の使用率を平均した値であり、以後これをビデオサーバの使用率と呼ぶ。縦軸は、各ビデオセグメントの読み出し処理における端末での1秒あたりの再生途切れ発生率を示している。ビデオサーバ内の各ディスク装置が特殊再生実行直後に移動する先の目標ディスク装置となる確率は等しいとした。

図6に示すように、特殊再生がまったくない場合に途切れが発生する(ビデオ途切れ率が0.1%のしきい値を超える)ビデオサーバの使用率は74%であるのに対し、特殊再生要求発生時の平均間隔を300秒、30秒、10秒と短くした場合の途切れが発生するビデオサーバの使用率はそれぞれ73%、71%、66%である。すなわち、特殊再生の頻度が大きいほど、より少ないビデオサーバ使用率でも途切れが発生することが分かる。これは、特殊再生の頻度が大きいと、それにとまって各ディスク装置の瞬時の負荷の偏りが発生する確率が増加するためである。

図6では、ビデオサーバ内の各ディスク装置が特殊

表2 モデルパラメータと数値例

Table 2 Model parameters and numerical examples.

記号	モデルパラメータの意味	数値例
V	ビデオセグメント1個の再生時間	1.0 [s]
$1/e$	ビデオ番組の平均視聴時間	600 [s]
$1/p$	特殊再生要求の平均発生間隔	10/30/300 [s]
$1/\mu$	各ディスク装置での平均読み出し時間	0.1 [s]
n	ビデオサーバ内のディスク装置数	10 [台]
m	スロー・ポーズの場合の特別バッファ面数	2 [面]
s	全特殊再生のうち、スロー・ポーズの割合	1/3

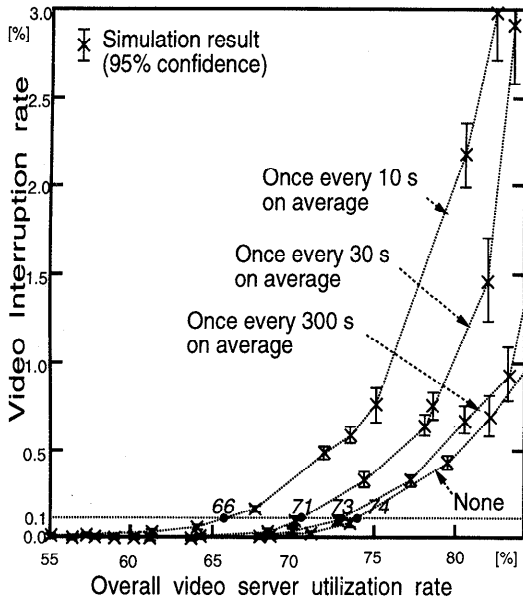


図6 異なった特殊再生平均発生間隔における途切れ発生率(制御なし)

Fig.6 Video interruption rate with different frequency of VCR-like playback functions without adaptive controls.

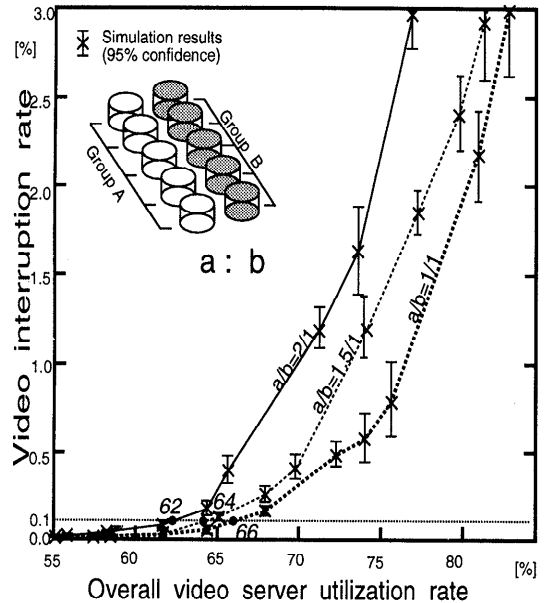


図7 ディスク装置グループ間で特殊再生直後の被アクセス率が異なる場合の途切れ発生率(制御なし)

Fig.7 Video interruption rate with different selection ratios just after VCR-like playback functions without adaptive controls.

再生実行直後に移動する先の目標ディスク装置となる確率は等しいとしたが、ビデオオンデマンドサービスにおいては、各ビデオ番組の人気差は非常に大きいことが知られており¹⁾、同様に、特殊再生要求時にも、各シーンへのジャンプ要求が発生する頻度や、各シーンでのスローが発生する頻度もシーンごとに大きく異なることが予想されるため、特殊再生要求時の各シーンの被アクセス率の偏りを考慮に入れる必要がある。しかしながら、ストライピング方式を採用しているビデオサーバにおいては、ビデオ番組を構成するシーン(の先頭ビデオセグメント)は複数のディスク装置に分散して蓄積されており、また、本論文では、(前掲1)より、ビデオ番組を構成するシーンの総数はディスク装置数に対して十分大きいことを想定している。したがって、たとえジャンプ先となる頻度が他より高いシーンがいくつかランダムに存在したとしても、各ディスク装置の「特殊再生実行直後に移動先目標ディスク装置となる確率」は、そのディスク装置上に蓄積されている全シーンの平均値となるため、極端な偏りは発生しない。筆者らが実際に行ったビデオオンデマンドのフィールド実験¹⁰⁾では、特殊再生発生直後の各ディスク装置への被アクセス率の偏り(被アクセス率の大きいものと小さいものと比)は最大2倍程度であった。

特殊再生要求発生時の平均間隔を10秒とし、特殊再生要求直後に各ディスク装置が目標ディスク装置となる確率に偏りを与えた場合のシミュレーション結果が図7である。ビデオサーバ内の10個のディスク装置のうち、任意に抽出した5個をディスク装置グループA、残りの5個をディスク装置グループBとし、各ディスク装置グループに属するディスク装置の特殊再生実行時に目標ディスク装置となる確率を、それぞれ確率a、確率bとする。特殊再生要求直後に各ディスク装置が目標ディスク装置となる確率の偏りの例として、(a/b)が(1/1)、(1.5/1)、(2/1)の3種類の場合について算出を行った。ここで、同一ディスク装置グループに属する各ディスク装置については、特殊再生要求直後に目標ディスク装置となる確率はすべて同じとした。

図7に示すように、すべてが同じ確率である場合(1/1)には、途切れが発生し始めるビデオサーバ使用率は66%であるのに対し、1.5倍の偏りがある場合(1.5/1)、2倍の偏りがある場合(2/1)には、それぞれビデオサーバの使用率64%、62%で途切れが発生し始めており、特殊再生実行時に目標ディスク装置となる確率に偏りが大きいほど、その差はわずかではあるが、ビデオサーバの使用率がより小さいところから端末でのビデオ再生の途切れが発生し始める。図6、7を

あわせて考えると、特殊再生の発生頻度が平均 10 秒に 1 回の頻度で、特殊再生実行時に移動する先のディスク装置群間に 2 倍の偏りがある場合、通常再生のみで特殊再生を行わない場合に比較して、ビデオサーバの使用率が 12% 程度小さいところで端末でのビデオ再生に途切れが発生し始めることが分かる。

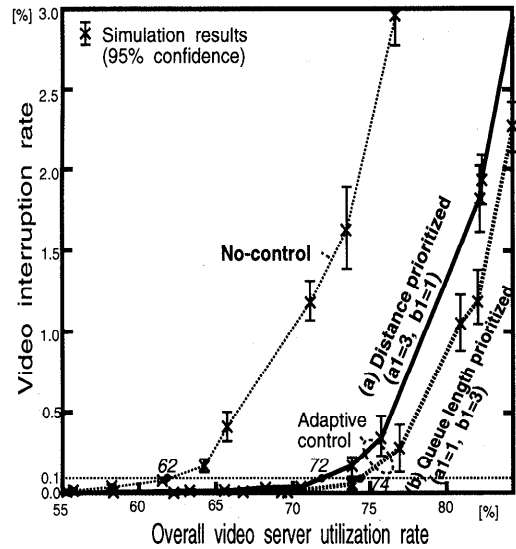
4.3 動的負荷バランス制御法の効果

次に、新規に提案した動的負荷バランス制御法を適用した場合の、ビデオサーバの使用率と端末での再生途切れ発生率の関係についてのシミュレーション結果を示す。なお、ビデオサーバはどのような条件下でも端末に対してつねに連続したビデオデータを送り続ける必要があるため、シミュレーションでは、特殊再生の平均発生間隔、および特殊再生実行時に目標ディスク装置となる確率の偏りについて、それぞれ現実的な範囲で最も厳しい条件である、10 秒、 $(a/b) = (2/1)$ を使用した。

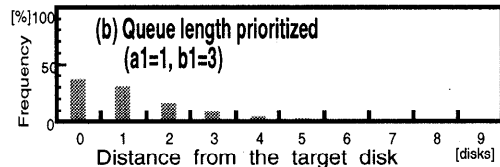
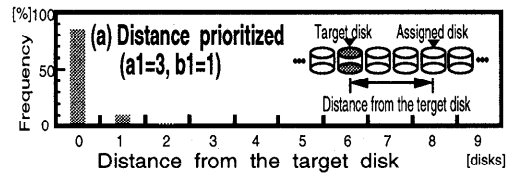
(1) ジャンプ・スキップサーチに対する制御法

シミュレーションでは、特殊再生のうち、ジャンプ・スキップサーチが 3 分の 1、別ファイル方式高速再生が 3 分の 1、スロー・ポーズが 3 分の 1 の割合でランダムな順番で発生するとしている。その中で、まず、ジャンプ・スキップサーチについてのみ動的負荷バランス制御法を適用した場合の、ビデオサーバの使用率と、各端末でのビデオ再生途切れ発生率の関係を図 8(1) に、特殊再生実行時の目標ディスク装置 DK_t と実際の割当てでディスク装置 DK_k との距離の分布を図 8(2) に示す。図 8(2) では、1 つのビデオセグメントの再生時間を 1 秒としているので、ディスク装置の距離を秒数と読み替えることにより、ビデオ番組上の目標再生ビデオセグメントと、ジャンプやスキップサーチが実行された直後に実際に再生されたビデオセグメントとの時間位置のずれが表示されていると考えることができる。図 8 では、評価関数 $H_1(k)$ を決定するときの、重み係数を $a_1 = 3$ 、 $b_1 = 1$ として目標ディスク装置からの距離を重視した場合 ((a) Distance prioritized) と、逆に $a_1 = 1$ 、 $b_1 = 3$ として各ディスク装置の待ち行列長のバランスを重視した場合 ((b) Queue length prioritized) の 2 通りについて評価を行った。なお、ジャンプ・スキップサーチ以外の特殊再生については、目標ディスク装置 DK_t と割当てでディスク装置 DK_k が一致するとし、またスロー・ポーズ用の先読みバッファは存在しないものとした。

まず、距離優先 ((a) Distance prioritized) とした場合には、図 8(1) から分かるように再生途切れが発生し始めるビデオサーバの使用率は 72% であり、制御法



(1) Video interruption rate

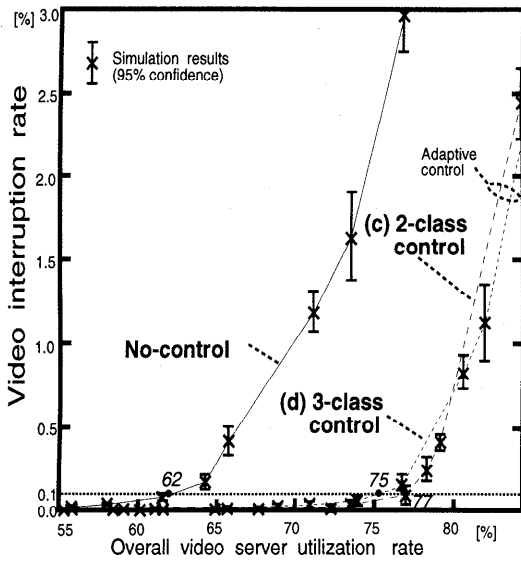


(2) Distribution of distances from the target disk

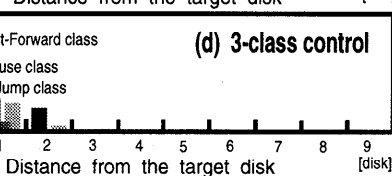
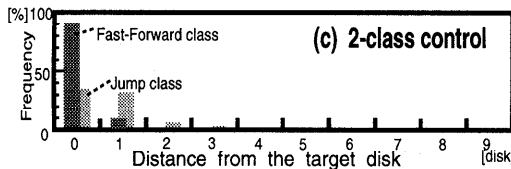
図 8 動的負荷バランス制御法適用の効果 (ジャンプ・スキップサーチのみに適用の場合)

Fig. 8 Effects of the dynamic load balancing technique (only for jumps and skip-searches).

を適用しなかった場合に比較して、約 10% の改善が見られる。また、図 8(2) から分かるように約 85% のジャンプ・スキップサーチでは、目標ディスク装置 DK_t と実際の割当てでディスク装置 DK_k とが一致している。一方、待ち行列長のバランスを重視した場合 ((b) Queue length prioritized) には、再生途切れが発生し始めるビデオサーバの使用率にはさらに 2% の改善が見られるが、図 8(2) から分かるように目標ディスク装置 DK_t と実際の割当てでディスク装置 DK_k との差は、0 から 5 の間で広がりが見られる。これは、実際にジャンプした場合、5 秒以下で、指定された時点



(1) Video interruption rate



(2) Distribution of distances from the target disk

図9 動的負荷バランス制御法適用の効果 (2-class 3-class control の場合)

Fig. 9 Effects of the dynamic load balancing technique (2-class, and 3-class controls).

からずれたビデオセグメントが再生される可能性があることを意味している。

(2) 複数クラスに対する同時制御法

ジャンプ・スキップサーチに加え、別ファイル方式高速再生やスロー・ポーズに対しても、それぞれ異なる評価関数 $H_2(k)$, $H_3(k)$ を使用して同時にディスク装置間の動的負荷バランス制御法を適用した場合の、ビデオサーバ全体の使用率と端末でのビデオ番組再生における途切れ発生率との関係を図9(1)に、また、目標ディスク装置 DK_t と実際の割当てディスク装置 DK_k との距離の分布を図9(2)に示す。

まず、ジャンプ・スキップサーチと別ファイル方式高速再生のみを対象とし、ジャンプ・スキップサーチに対しては待ち行列長のバランスを重視 ($a_1 = 1, b_1 = 3$) とし、別ファイル方式高速再生に対しては距離優先 ($a_2 = 3, b_2 = 1$) とし、同時に提案する制御法を適用した ((b) 2-class control)。このとき、スロー・ポーズ用の先読みバッファは存在しないものとした。その結果、再生途切れが発生し始めるビデオサーバの使用率は約75%であり、負荷バランスのための制御法を適用しなかった場合に比較して、使用率で約13%の改善が見られる。図9(2)に示すように、目標ディスク装置 DK_t と実際の割当てディスク装置 DK_k とのディスク装置間距離は、ジャンプ・スキップサーチは0から2の範囲で広がりがあがるが、別ファイル方式高速再生については、ほぼ9割が距離0で両ディスク装置が一致している。

次にジャンプ・スキップサーチ/別ファイル方式高速再生/スロー・ポーズを3つのクラスに分離し、それらすべてに対して異なる評価関数を用いて同時に提案した制御法を適用した ((c) 3-class control)。このとき、スロー・ポーズにおける特別な先読みバッファの面数 m は2とし、スロー・ポーズに対する制御法は、他の2つのクラス [($a_1 = 1, b_1 = 3$), ($a_2 = 3, b_2 = 1$)] に比較して、ディスク装置間の負荷バランス優先 ($a_3 = 100, b_3 = 1$) とした。その結果、再生途切れが発生し始めるビデオサーバの使用率は、ジャンプ・スキップサーチ、別ファイル方式高速再生のみに制御法を適用した場合 ((b) 2-class control) に比較して2%程度の改善があった。しかし、目標ディスク装置 DK_t と実際の割当てディスク装置 DK_k とのディスク装置間距離に関しては、スロー・ポーズの場合が0から2に広がった分、ジャンプ・スキップサーチおよび別ファイル方式高速再生の場合の広がりが小さくなっている。

図9の複数クラスに対して同時に制御法を適用した場合 ((b) 2-class control および (c) 3-class control) の途切れが発生し始めるビデオサーバの使用率は75~77%である。それに対し、図6の負荷バランス制御法を適用しないビデオサーバにおいて特殊再生の発生なし (None) とした場合の途切れが発生し始める使用率は74%である。この2つから、提案する制御法のもとで特殊再生を行った方が、特殊再生を行わないときよりも、むしろ途切れ始めるビデオサーバの使用率が大きいことが分かる。これは、通常再生のみであっても、ストライピング方式では、新規に発生するビデオ再生要求や、各ディスク装置におけるビデオセ

グメントの読み出し処理時間の変動により、少ないながらもディスク装置間に負荷の片寄りが発生する。それに対して今回提案した制御法では、特殊再生発生ごとに、各ディスク装置の処理待ち行列長監視によって各ディスク装置の負荷をバランスするよう動的に制御するものであり、負荷がよりバランスされるためと考えられる。

5. おわりに

ビデオサーバにおいて同時多重数を増やす技術であるストライピング方式において、ジャンプ・スキップサーチ、高速再生、スロー・ポーズといった特殊再生を実行した場合、ディスク装置間の負荷の不均衡が増大するという問題がある。本論文では、特殊再生の実行時に、計算上読み出し処理の実行が必要となる目標ディスク装置との距離と、各ディスク装置における瞬時の読み出し処理待ち行列長とから計算される評価関数に基づいて、各特殊再生の実行時に実際に読み出し処理を行う割当てディスク装置を決定する負荷バランス制御法を提案した。特殊再生実行時に提案した制御法を適用することにより、ビデオサーバ内の各ディスク装置の負荷がバランスされ、ビデオサーバの使用率がより大きい値になるまで端末で再生途切れが発生しにくくなる。

待ち行列網モデルに基づいた計算機シミュレーションによれば、特殊再生全体の3分の1頻度を有すると想定したジャンプ・スキップサーチに対してのみ本負荷バランス制御法を適用した場合にも、負荷バランス制御法をまったく適用しない場合に比較して、端末において再生途切れが発生し始めるビデオサーバの使用率が10~12%改善されることが分かった。さらに、高速再生やスロー・ポーズに対しても、クラス分けを行い、それぞれのクラスに対して適切な評価関数を用いて同時に本制御法を適用することにより、端末において再生途切れが発生し始めるビデオサーバの使用率がさらに若干(1~3%程度)改善されることが分かった。

今後は実機により提案制御法の効果について検証を行う予定である。

謝辞 本研究の機会を与えていただいたNTTヒューマンインタフェース研究所メディア応用システム研究部の中野博隆部長に感謝いたします。

参考文献

1) Gemmell, D.J., Vin, H.M., Kandlur, D.D.,

- Rangan, P.V. and Rowe, L.A.: Multimedia storage servers: A tutorial, *IEEE Computer*, Vol.28, No.5, pp.40-49 (1995).
- 2) 阪本秀樹, 西村一敏, 中野博隆: ビデオ情報の大規模多重アクセス方式, 信学論 (D-II), Vol.J78-D-II, No.1, pp.76-85 (1995).
- 3) ISO/IEC JTC1/IS 13818-6, Digital Storage Media Command and Control (DSM-CC) (1996).
- 4) Digital Audio-Visual Council, DAVIC 1.0 Specification Part1 (1996).
- 5) 石橋 豊, 西村一敏, 中野博隆: ビデオオンデマンドサービスのための多重特殊再生技術の検討, 信学技法, IE92-96, pp.101-106 (1992).
- 6) Chen, M.S., Kandlur, D.D. and Yu, P.S.: Storage and retrieval methods to support fully interactive playout in a disk-array-based video server, *ACM Multimedia Systems*, Vol.3, No.3, pp.126-135 (1995).
- 7) 阪本秀樹, 鈴木偉元, 西村一敏: ストライピング方式に基づいたビデオサーバにおけるディスク装置の負荷バランス解析, 信学論 (D-II), Vol.J79-D-II, No.4, pp.634-638 (1996).
- 8) Chang, E. and Zakhor, A.: Scalable video data placement on parallel disk arrays, *Proc. IS&T/SPIE Electronic Imaging '94*, Vol.2185, pp.208-221 (1994).
- 9) 阪本秀樹: ビデオサーバの基本アーキテクチャ, 日経ニューメディア別冊インタラクティブ・テレビ, 日経 BP 社, pp.22-31 (1994).
- 10) Sakamoto, H., Uemori, A., Sugiyama, H. and Nishimura, K.: Video Server Architecture Supporting Real-Time Input and Immediate Playback, *Proc. IPSJ Multimedia Japan '96*, pp.224-231 (1996).
- 11) Nishimura, K. and Kasahara, H.: Multimedia-on-Demand for B-ISDN, *NTT Review*, Vol.8, No.2, pp.23-30 (1996).
- 12) Ruemmler, C. and Wilkes, J.: An Introduction to Disk Drive Modeling, *IEEE Computer*, Vol.27, No.23 pp.17-28 (1994).

(平成 8 年 11 月 26 日受付)

(平成 9 年 12 月 1 日採録)

**阪本 秀樹 (正会員)**

昭和 61 年大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。以来、HDTV 高速ビデオテックスシステム、ビデオオンデマンドシステムの研究開発に従事。現在、NTT・OCN 事業部販売推進部門担当課長。電子情報通信学会学会、IEEE、ACM 各会員。

**鈴木 偉元**

平成 3 年千葉大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。以来、ビデオオンデマンドシステムの研究開発に従事。現在、NTT ヒューマンインタフェース研究所研究主任。電子情報通信学会会員。

**西村 一敏**

昭和 48 年熊本大学工学部電子工学科卒業。同年日本電信電話公社(現 NTT)入社。以来、磁気テープ記憶装置、光ディスク装置、マス・ストレージ・システム、およびビデオオンデマンドシステムの研究実用化に従事。現在、NTT ヒューマンインタフェース研究所主幹研究員(グループリーダー)。応用物理学会、電子情報通信学会各会員。

**田中 清**

平成 6 年大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻博士前期課程修了。同年日本電信電話(株)入社。以来、マルチメディアシステム、特にビデオオンデマンドの研究に従事。現在、NTT ヒューマンインタフェース研究所に勤務。電子情報通信学会会員。