

P2P を用いた VOD サーバの負荷低減方式の提案
 -サーバ・クライアントのキャッシュ制御プロトコル-

島田 佳広[†] 佐藤 陽一[†] 中西 亮[†] 平田 謙司[†] 品川 高廣^{††} 吉澤 康文^{††}
[†]東京農工大学大学院工学教育部 ^{††}東京農工大学大学院共生科学技術研究所

1. はじめに

大量の動画情報を読み込み、クライアントに送信する VOD サーバでは人気タイトルの情報をメモリ内にキャッシュする工夫によりディスク I/O の負荷を低減することができる。しかしこの工夫が成功しても、通信回線を通して送信するオーバーヘッドの低減はできない。そこで、P2P プロトコルを用いて、クライアントの通信回線、CPU、メモリ等を利用し、VOD サーバの負荷を低減する方式を提案する。本方式では参照位置に近いクライアント同士がグループ(チャンクグループ)を作り、先行しているクライアントが後続のクライアントへデータを転送することによりサーバ負荷の削減を図る。また本方式はチャンクという単独で再生可能なデータ単位でコンテンツの転送を行い、LAN 等の伝播遅延が小さく信頼性の高いネットワーク上で実現することを想定している。本稿では、本方式を採用した VOD サーバとクライアントの通信プロトコルを報告する。

2. 要求分析

P2P を利用した VOD 配信システムが満たすべき要件として次のような点があげられる。

(1) クライアントメモリの効率的な利用

クライアントは、受信したデータを他クライアントに転送する必要があるため、再生の終了したデータをすぐに破棄することはできない。また、クライアントはメモリにのみデータをキャッシュし外部記憶を使用しない。このため、クライアントは容量の限られたメモリにおいて、不要となったデータを適切に廃棄し、新たなデータを受信するためのメモリを確保する必要がある。

(2) チャンクグループを担うクライアント数の最大化

サーバはチャンクグループに属するクライアント数が最大になるように努めることで、負荷をより多く削減することができる。

3. 制御プロトコル

提案方式を実現するための制御プロトコルとして、クライアントメモリを効率的に利用し、クライアント間のセッション管理を行う通信プロトコル(SCP)とチャンク単位でデータ転送を行う通信プロトコル(DTP)を定め 3.1 に示す。またチャンクグループに属

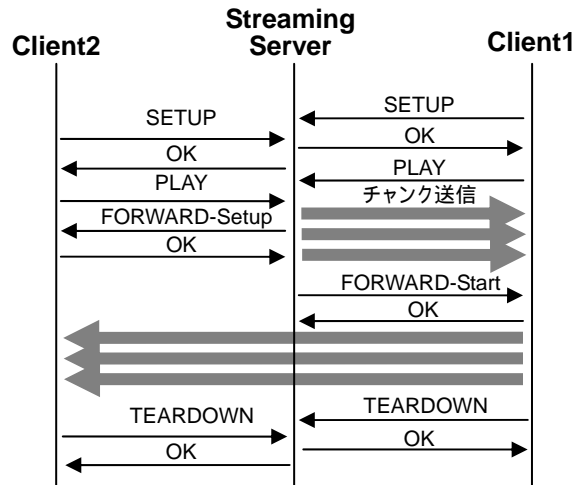


図1 プロトコルシーケンス

するクライアント数の最大化を図るための方法を 3.2 に示す。

3.1 通信プロトコル

3.1.1 SCP (Session Control Protocol)

SCP は RTSP(Real Time Streaming Protocol)に似たプロトコルであり、クライアントメモリに関する情報を交換し再生準備を行うメソッド(SETUP,PLAY)とクライアント同士の接続を行うメソッド(FORWARD)に大きく分けることができる。図1にプロトコルシーケンスを示す。

SETUP では配信タイトル等の基本的な情報に加えて、クライアントの使用可能なメモリサイズを交換する。次にサーバはクライアントメモリサイズと配信コンテンツのチャンクサイズからクライアントメモリに保持するチャンク数(ブロック数)を決定し、OKでクライアントに送信する。クライアントはこれらのメモリに関するパラメータを元に受信の準備を行う。クライアントは受信準備が完了したら、サーバへPLAYを送信し、コンテンツを受信・再生する。

クライアントは同一タイトルを視聴している直前のクライアントの状況と再生開始からの経過時間に応じて4つの状態(CLOSE, OPEN, SETUP, WAIT)に遷移する。サーバはOPEN状態のクライアントが視聴しているタイトルへの、新たな配信要求(PLAY)を受け付けるとチャンクグループを作成する。

サーバはチャンクグループ作成のために FORWARD-Setup と FORWARD-Start を使用する。

FORWARD-Setupは配信元クライアントのIPアドレスや Chunk ACK(チャンク受信完了応答)パケット、Chunk WIN(空きメモリ量通知)パケットの宛先ポート番号等のチャンク転送に必要な情報を交換する。転送受付準備が完了したら、サーバは FORWARD

Load Reduction Method of VOD Servers using P2P
 -Cache Control Protocol between Server and Clients-
 Yoshihiro Shimada[†], Yoichi Sato[†], Ryo Nakanishi[†], Kenji Hirata[†], Takahiro Shinagawa^{††}, Yasufumi Yoshizawa^{††}
[†] Graduate School of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology
^{††} Institute of Symbiotic Science and Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

-Start を送信し、チャンクの転送を開始させる。

3.1.2 DTP (Data Transfer Protocol)

DTP はクライアントメモリの状態を考慮して、チャンク単位のデータ転送を行うためのプロトコルで、コンテンツデータと Chunk ACK パケット、Chunk WIN パケットの送受信を行う。

クライアントはチャンクの受信が完了したら、送信元に対して Chunk ACK パケットを送信する。Chunk ACK パケットは該当チャンクが不要か判断するのに用いる。またサーバ・クライアントはチャンク転送先クライアントからの Chunk WIN を受信し、受信可能なメモリ容量に応じて次のチャンクを送信する。Chunk WIN は不要なチャンクが生じたときに送信する。LAN 等のパケットロス率が少ない環境下での VOD 配信においては、パケット単位の ACK ではなくチャンク単位の ACK を用いることによって効率的に帯域を使用することができる。

3.2 チャンクグループ

サーバの負荷低減のために、チャンクグループに属するクライアント数を最大化したい。チャンクグループはクライアントがコンテンツの先頭にあたるチャンク(1st chunk)をキャッシュしているときのみ作成することができる。そこで 1st chunk を保持する時間を MTAF(Max Time to Accept Forward Request)と名付け、再生を開始してから MTAF だけ新たに後続のクライアントをチャンクグループに加えることができるものとする。つまり再生を開始してから MTAF 間がクライアントが OPEN 状態である期間である。チャンクをいくつか受信しメモリが飽和した状態では、1st chunk をキャッシュしている限り空きメモリが生まれなため、新たなチャンクを受信できなくなる。そのためクライアントの継続的な再生を保証できる範囲内で 1st chunk の保持期間を決定しなければならない。MTAF が長いほどチャンクグループに属するクライアント数が増加する確率が高くなる。本稿では、(1)継続的な再生を保証し、(2)クライアントメモリを最大限に利用した MTAF 決定方式について述べる。

(1) 継続的な再生保証

チャンク転送要求を受け取った後にクライアントは (a)チャンクの転送、(b)Chunk ACK の受信、(c)Chunk WIN の送信、(d)チャンクの受信を行う。これらの消費時間の合計を最低再生保証時間とし、式(1)で見積もる。ここでチャンク転送時間はチャンクサイズを通信帯域幅で割ったものとする。

$$\text{guarantee time} = 2 \times (T_c + \text{RTT}) + \dots - (1)$$

(T_c : チャンク転送時間, RTT : 応答遅延時間)

(2) 異なるクライアントメモリサイズへの対応

SCP でクライアントメモリサイズを把握することにより、サーバは使用可能なメモリサイズの異なる各々のクライアントが 1st Chunk を保持する時間を見積もることができる。

上記(1),(2)より MTAF は以下の式で見積もることができる。

$$\text{MTAF} = (T_p \times \text{block num}) - \text{guarantee time} - (2)$$

(T_p : チャンク再生時間, block num : ブロック数)

表 1 ストリーミングメディア

フォーマット	MPEG2-PS
再生時間	120 分
画像サイズ	720 × 480
ビットレート	4Mbps(固定)
ファイルサイズ	3.6GB

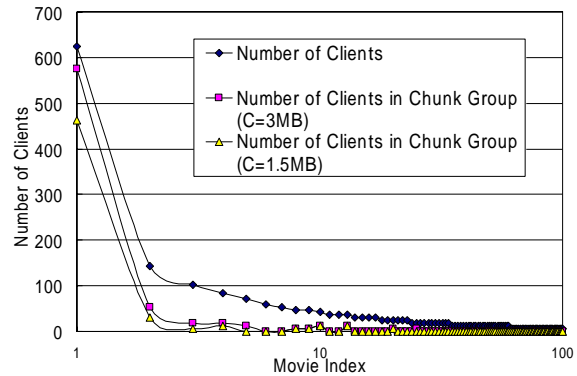


図 2 配信クライアント数とチャンクグループの関係

4. シミュレーションによる効果予測

総配信クライアント数に対するチャンクグループに属するクライアント数の割合を計測し提案方式の有効性を検証するために、ストリーミングサーバに対する負荷モデルを定義し、シミュレーションによる効果予測を行った。クライアントメモリには最大で 4 チャンク保持できるものとし、再生保証時間(guarantee time)を 1 チャンク分の再生時間とした。対象とするストリーミングメディアを表 1 に示す。シミュレータはポアソン分布に従ったリクエスト到着間隔でセッション開始のリクエストを発生させ、コンテンツの参照頻度は $\lambda = 0.271$ [1] の Zipf 近似分布に従う。今回は平均リクエスト到着間隔 $\lambda^{-1} = 3$ 秒の場合を想定し、配信クライアントの総数とチャンクグループを形成しているクライアント数を測定した。結果を図 2 に示す。

Movie Index 別に見ると最大 93%、平均 32%(共にチャンクサイズ 3MB の時)のクライアントがチャンクグループを形成していることがわかる。チャンクグループを形成しているクライアントはサーバから直接配信を受けずに上位のクライアントから配信されるため、その分サーバは直接配信を行うクライアント数を増やすことができる。またこの結果から、本方式は人気タイトルに集中して要求が集まったときに効果を発揮することが分かる。

5. おわりに

本稿では、P2P を利用した VOD 配信方式のためのプロトコルを提案し、シミュレーションによる有効性の検証を行った。本方式は、クライアントメモリを考慮したデータ配信により、サーバの負荷を低減する。なお現在本機構を実装中であり、今後の課題として実環境下での評価、および既存研究との比較評価があげられる。

参考文献

[1] A. Dan, and D. Sitaram. Buffer Management Policy for an On-Demand Video Server. IBM Research Report RC 19347,1994.