

擬似クライアントによる動画配信サーバ 負荷試験と配信品質劣化の検出

本多芳三 太田裕之

安藤電気(株)

〒212-8519 神奈川県川崎市幸区塚越3丁目484番地

E-mail: honda@ando.co.jp

概要 動画ストリーミング配信が期待されており、CDN (Content Delivery Network)が注目されている。この状況では、動画配信サーバに対する多数の同時アクセス負荷性能と配信品質の関係が重要である。そこで、擬似クライアントを用いて、セッション複製によるサーバ負荷の発生方法と、多数の動画ストリームのパケットヘッダ解析を行なう方法を提案する。複数のクライアントそれぞれについて、映像に関する評価と、運用中の配信品質劣化のチェック機能としても応用できる。また実験による処理規模についても報告する。

Video Streaming Server Load Testing and Video Service Quality Degradation Detecting Using Pseudo Clients

Yoshizou Honda Hiroshi Ohta

Ando Electric Co., Ltd.

3-484, Tsukagoshi, Saiwai-ku, Kawasaki, Kanagawa, 212-8519 Japan

E-mail: honda@ando.co.jp

Abstract Video streaming services are expected using CDN (Content Delivery Network). In such a case, relations between video service quality and video streaming server loads under parallel access by many users are important. In this paper, we propose a method using pseudo clients to access servers by means of many replications of a session and packet header analyzing of many video streams, in order to evaluate and check the stress and the quality degradation for every client. We also report a experimental evaluation of the process complexity in pseudo clients.

1. はじめに

ブロードバンド、高速ワイヤレスアクセスの普及により、動画ストリーミング配信が期待されている。広域にわたる多数のクライアントがアクセスする際、サーバ・ネットワークへの負荷を分散する方法として、CDN (Content Delivery Network)¹⁾ が注目されており、この状況で、サーバ・ネットワークの負荷性能を把握することはきわめて重要となる。

サーバ負荷試験に関して、サーバ動作のボトルネック解析の研究がある²⁾。サーバのログ等に基づいて配信状況を評価し、サーバ内部を把握するのに有効である。

ここで、配信者が配信品質を把握する目的を考えると、あらゆるクライアントへの配信品質を検証するなどの総合評価に用いるには不向きな点がある。例えば、負荷を発生する処理量が大いので高速なコンピュータを多数用いる必要があり、処理規模のほとんどは負荷発生で占められることになる。

多数のクライアントユーザへの動画ストリームを受信して配信品質を並列に把握するには、負荷発生処理と配信品質劣化検出処理の双方の処理規模の効率化が重要な課題となる。すなわち、復号表示処理を省いた擬似クライアントが重要な技術となる。

そこで、本報告では、処理量の小さな擬似クライアントを用いて、負荷発生と効率的な配信品質劣化の並列検出方法を提案する。並列検出方法はさらに運用中にサーバが送出するストリームを監視する応用がある。

実験的に、一般的なコンピュータ1台当たり約100本の擬似クライアントを動作させ、負荷発生と劣化検出を行なったので報告する。さらに、パケット特性だけでなく、映像品質を推定する方式を提案する。

2. 動画配信サーバ負荷と配信品質

2.1 同時アクセス時のサーバ負荷と配信品質

多数のユーザのアクセス負荷を分散する方法として注目されているCDNの簡単な例を図1に示す。キャッシュを用いて負荷分散に有効である。ところが、

なお必要十分な設備のためにキャッシュ一台当たりの収容数、すなわち負荷性能が重要である。負荷による配信品質の劣化は、たとえ一部のユーザに対し一時的であっても避けなければならない。例えば、レスポンス時間の増大、パケットの廃棄・遅延などにより動画品質が劣化する。

しかも、単体のコンピュータとしてのサーバだけでなく、認証サーバ、コンテンツ管理サーバなどの連携処理、ロードバランサによる分散処理の実効性、ネットワークの輻輳、他のサービス、例えば音声サービス、分散トランザクションなどへの悪影響を含めて、負荷による劣化を評価することがきわめて重要になる。

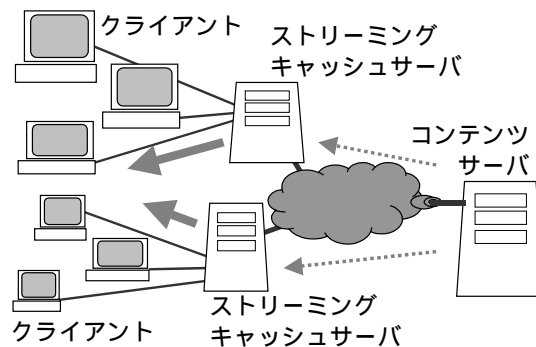


図1. CDNの構成の例

2.2 動画配信サーバ負荷試験

このような配信システムの劣化に関する試験方法として、動画サービスリクエスト発行と復号再生を行なうクライアントを使って、コンピュータを多数並べていっせいにオペレーションを行い、動画サーバに並列にアクセスして、多数のセッションによる負荷を発生させる方法があった。

これに対して、擬似クライアントを用いる効率的な方法がある。例えば、ストリーミングサーバソフトウェアに対応したプレーヤと呼ばれるクライアントソフトウェアに基づき、動画符号の復号表示処理を省いたソフトウェアを用い、コンピュータ1台当たり多数のクライアントに相当するアクセスを擬似発生することができる。擬似的な負荷の下で、サーバのログの異常等を見て試験することができる。

以降では、クライアントの動作をサーバ側から見て、本来のプレーヤソフトウェアと同様に見えるように、セッション要求処理と受信動作を行うが、処理規模の大きい復号表示処理は実行しないソフトウェアを、擬似クライアントと呼ぶことにする。

2.3 動画配信品質の評価の立場

次に、応用分野を特定するために、動画配信品質の劣化要因の箇所と内容を検討して、配信品質を把握する立場について簡単に説明する。

図2に示すように、エンコーダで出力された動画ストリームが配信により品質が一次的に劣化し、最後に受信端末で復号表示されるとする。

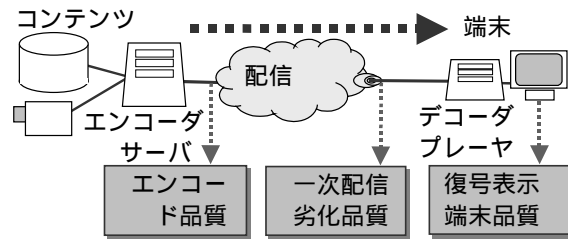


図2. 動画配信における一次品質

例えば、動画符号化の際の量子化粗さによる画像の歪は、配信前に発生したものと見なす。なぜならば、仮りに配信システムを理想化して、動画符号を無損失、無遅延で配信したとしても、この種の歪みはクライアント上に再現されるので、配信による劣化と区別すべきであるからである。

クライアント受信端末の復号表示処理に、動画ストリームの欠損を隠蔽するコンシールメント処理がある。この機能の有無が、端末の選択、あるいはクライアントソフトウェアをアップデートする/しないの選択を利用者の責任で行う状況にあるものとする。端末処理は配信後のことであり、配信ベンダはコンシールメント処理などの優劣にかかわらない一次の動画欠損の品質を保証すればよいことになる。これに近い状況が実際に見受けられる。したがって、ここでは、配信ベンダにとって配信における一次の動画欠損を水準以下に抑えることを目的とする。

2.4 動画配信品質の劣化検出

動画配信サーバを含むシステムの動画配信品質の劣化の検出は、これまでは少数のクライアントにおいて行なわれてきたが、並列配信に関する負荷特性を把握するために、あらゆるクライアントに対して動画ストリームの配信の品質劣化をそれぞれ並列に検出することが必須である。同時クライアント数が例えば100の規模の動画ストリームからそれぞれの映像を復号して評価する処理は、大規模であるので、これまでは並列検出を行なうことはなかった。

2.5 擬似クライアントの利用

前で述べたように、多数のクライアントがアクセスする状況で、配信品質劣化の並列検出と、負荷発生は、擬似クライアントを利用することで、実現することができる。すなわち、擬似クライアントは、アクセスを要求し、動画ストリームを受信して、品質劣化検出を行なうことにする。これまでの擬似クライアントを、さらに効率化する必要がある。

3. 擬似クライアントによるセッション

3.1 セッションの擬似発生

ここでは、セッションプロトコルとしてRTSP(Real Time Streaming Protocol)³⁾の例を述べる。RTSPの概要を図3に示す。図3の右側はSDP(Session Description Protocol)⁴⁾と呼ばれるセッション情報の例である。この情報が図3の左側に示すように送受される。

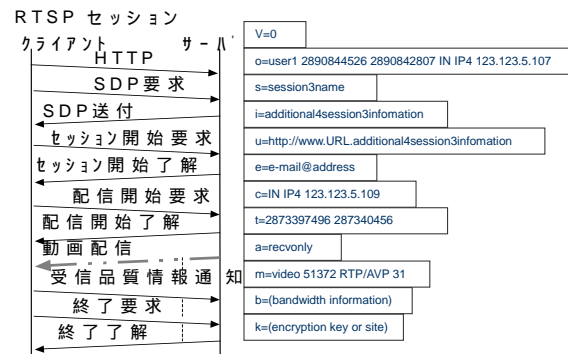


図3. 標準セッションプロトコルRTSPの例

擬似的にセッションを発生するために、クライアントからサーバに送られるパケットを複製すれば、サーバから見ると本来のクライアントと同様に見える。すなわち、擬似クライアントが複製したパケットをサーバに送出すればよい。

手順は次のようにする。擬似クライアントはまず、図 4(a)のように、実クライアントとサーバのやりとりとしてのセッションのパケットをキャプチャして、順序とタイミングを記憶しておく。次に、図 4(b)のように、擬似クライアントが同様のパケットを同様に動画サーバに送出する。ただし擬似クライアントに合うようにポート番号ほかを書き替えて出力する。

この方法で、動画サーバは実クライアントと区別無く、セッションの要求を受け付けることになる。

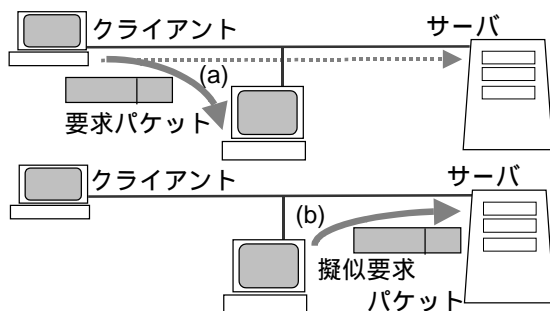


図 4. セッションの複製による擬似セッション発生

3.2 セッションの擬似発生の実験

前節の方法で擬似セッションの実験を行なった。QuickTime(TM)プレーヤが QuickTime サーバ、または RealSystem(TM)サーバに向けて送出した RTSP パケットをパケット解析ソフトウェアを用いてキャプチャした。この一部を書き替えて、擬似クライアントから動画サーバにセッション要求として RTSP パケットを投げた。これに応じてサーバは、実クライアントに対するのとまったく同様に、セッションを受け付け、動画ストリームを送出することを確かめた。この実験において、ソフトウェアを Perl スクリプト (<http://www.perl.com/>) で作成し、コンピュータ (CPU:600MHz デュアル NIC: 100BASE-LAN) 1 台当たり約 300 本の擬似セッションを発生できた。発生手順を自動化すれば、ハードウェアによってさらに

並列化の可能性がある。

ここで、QuickTime は、米国 Apple Computer, Inc. の商標であり、RealSystem は、Real Networks, Inc. の商標である。

4. 配信品質劣化の並列擬似検出

4.1 配信品質の劣化

前述のように、配信ベンダにとって、あらゆるクライアントに対して配信品質の劣化をチェックすることが不可欠である。

効率的な検出処理を行なうために、配信品質の劣化は、動画ストリームを運ぶパケットの廃棄・遅延とその揺らぎ、および帯域によるものであるとする。したがって、多数のクライアントに対するそれぞれの動画ストリームについてパケット損失率、遅延とその揺らぎ・帯域を並列的に検出する。

4.2 パケットヘッダ解析と実験

ここでは、RTP(Real Time Protocol)⁵⁾ によるパケットを用いて、動画ストリームを伝送するものとする。

図 5 に示すように、RTP パケットを運ぶパケット全体のヘッダ部分を見れば、クライアント情報、シーケンス番号、タイムスタンプがあるので、それぞれのストリームごとにヘッダ解析を行なって、帯域・パケット損失率・遅延とその揺らぎを求めることができる。

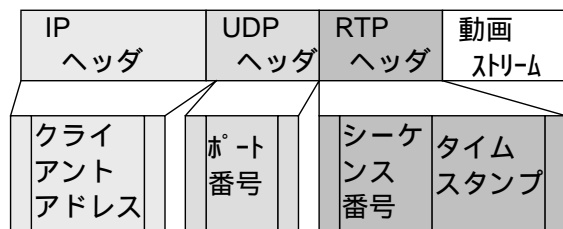


図 5. IP-UDP-RTP パケットの例

前述の劣化検出を並列に実行する実験を行なった。実験的に、それぞれのストリームごとに帯域とパケット損失率を検出するソフトウェアを Perl スクリプト

トで作成し、前述のコンピュータで動作させた。それぞれのストリーム帯域が 140kbit/s で約 100 本のストリームを同時に受信して、RTP パケットの受信時の取りこぼしはなかった。

この処理規模は、CPU、ネットワークインターフェースなどのハードウェアの高速化と、Perl スクリプトを C 言語に書き替えるなどにより、さらに多数のストリームを並列に劣化検出できる見込がある。

5. 動画品質劣化の並列検出

5.1 動画品質の尺度の簡易化

前述ではパケット特性を検出したが、さらに、アプリケーション品質として、動画品質の劣化がどのようになっているかを把握する必要がある。これについても並列検出する方法を以下に提案する。

並列化のために、単一のクライアント当たりの処理を可能な限り単純化する必要があるので、動画配信サービスにおける品質尺度を簡易化することについて説明する。

まず、レスポンスが重要品質パラメータであり、クライアントがリクエストを発行してから、動画ストリームを受信または復号表示するまでの時間を計測する。

次に再生される映像の品質である。これについては従来から主観品質の評価を自動化する技術が研究されてきたが、ここでは、図 2 を例に述べたように、配信における一次的な劣化に限定し、尺度を簡易化する。すなわち、パケットの廃棄遅延によって再生される動画が劣化するため、映像の欠損を評価すればよい。

最も頻度が高くしかも影響の大きい劣化に、動画のフリーズと、フレーム落ちがある。ここではフレーム欠損と呼ぶ。これはパケットが届かなかった場合と、パケットの遅延により表示されない場合がある。フレームに相当するパケットが廃棄されるか遅延されるかを検出し、復号されないフレームを参照するフレームも欠損と判定する。

さらに、デコーダが、欠落のあるストリームなど

の異常な符号を処理すると、一般に再同期符号まで復号処理が復帰できない。こうした状況をエミュレートすれば実クライアントに近い動画の欠損の状況が判定できる。

また、配信方法によっては、廃棄や遅延による復号表示処理の破綻を最小限に抑える目的で、配信中に解像度などを一時的に低下させたストリームを配信する方法がある。この状況の劣化としては、必要以上に解像度などが低下することがある。他の条件が同様ならば、解像度低下の時間が長いほど、動画品質が低いことになる。この状況での動画品質評価の目的に合う最も簡単な尺度のひとつに、動画情報量⁶⁾がある。動画情報量は、取り得る階調数を全画素にわたり総和した値であり、簡単な場合は、量子化レベル数と、フレーム内の画素数と、フレーム数の積で得られる。

5.2 パケットヘッダ解析

こうした動画品質として、並列に多数の動画ストリームを処理するために、ヘッダ解析を行なう。

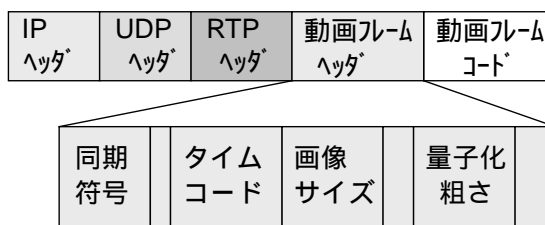


図 6. 動画フレームヘッダの例

ここでは図 6 に示すように、動画フレームヘッダには、同期符号・タイムコード・画像サイズ(解像度)・量子化粗さがあるものとする。パケットヘッダは前述の図 5 に示すものとする。

例えば、MPEG-4⁷⁾ を RTP パケットで伝送する場合に見られるように、動画フレームヘッダは RTP ヘッダのすぐあとに続く⁸⁾。そうでない場合であっても同期符号から動画フレームヘッダを読み取ることができ、次の処理で、動画品質劣化を検出する。

タイムコードに基づいて受信したフレームをチェ

ックし、パケットシーケンス番号の欠けをチェックし、フレームの欠落がわかる。また遅延によるフレーム廃棄の判定を行う。さらに、欠損フレームを参照するフレームもまた欠損とする。動画ストリームの欠けにより、次の再同期符号までは復帰しない現象に合わせて、フレーム欠損箇所を特定する。

また、解像度・フレームレート・量子化粗さから前述の動画情報量を算出し、必要以上の品質低下などをチェックすることもできる。

このように、ヘッダ情報から検出でき、処理規模が小さいので、並列検出の実現性がある。

5.3 擬似クライアントの応用

以上の擬似クライアントを用いた負荷発生と配信品質劣化の並列検出の応用を、図7に示す。

擬似クライアントを用いて、擬似セッションをサーバに要求し、動画ストリームを受信して、それぞれの動画ストリームを受信して並列に配信品質の劣化を検出する。

または、実際のクライアントがサーバにアクセスしている状況で、多数の動画ストリームを取り込んで、並列検出を行う応用もある(図7下)。処理方法が比較的シンプルである場合は、ハードウェアによる高速処理の可能性もある。

ここで並列検出する品質は、動画フレームヘッダの解析により、動画のフレーム欠損についても検出し、パケット特性だけではわからない動画品質についても劣化を検出することもできる。

6. 今後の課題

前述の並列処理の性能限界を評価し、さらに擬似クライアントの有効性を実証することが今後の課題である。また、動画フレームヘッダ解析を実装して動画品質劣化の並列検出の実証を行ないたい。

7. まとめ

擬似クライアントを用いた動画配信サーバ負荷試験と配信品質劣化の並列検出方法について、効率的な擬似セッションの発生方法と、パケット特性だけ

でなく、動画品質の劣化を並列検出する方法を提案した。配信ベンダが、多数のアクセスに対する配信品質をそれぞれチェックする応用に有効である。

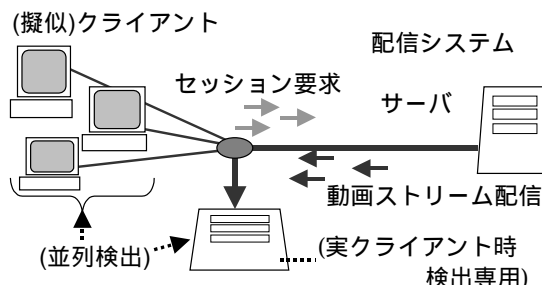


図7. 擬似クライアントの応用

謝辞 本稿に関して、日頃議論していただいた皆様
に感謝致します。

参考文献

- 1) 篠浦ら監修；” 要点チェック式 ブロードバンド教科書 ”，I E インスティテュート，2001年7月
- 2) 六藤，林；” 映像ストリーミング配信サービスの設計管理法に関する一検討 ”，2001年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集2，p.262，2001年9月
- 3) Schulzrinne, et. al. ; “ Real Time Streaming Protocol (RTSP) ”, RFC2326 , <http://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt> , 1998
- 4) Handley, et. al. ; “ SDP: Session Description Protocol ” , RFC2327 , <http://www.ietf.org/rfc/rfc2327.txt> , 1998
- 5) Schulzrinne, et. al. ; “ RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications ” , RFC1889 , <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt> , 1996
- 6) 本多，二木；” 動画品質のリアルタイム評価方法と動画サービスへの応用 ” 情処研報2001-DPS-102 , vol.2001 , No.29 , pp.85 ~ 90 , 2001年3月
- 7) 大久保ら監修；” 要点チェック式 H.323/MPEG-4教科書 ”，I E インスティテュート，2001年4月
- 8) Kikuchi, et. al. ; “ RTP Payload Format for MPEG-4 Audio/Visual Streams ” , RFC3016 , <http://www.ietf.org/rfc/rfc3016.txt> , 2000