

ユーザ間公平性・優先度を考慮した映像配信レート制御方式の検討

広野 正巳 植松 芳彦

日本電信電話株式会社 ネットワークサービスシステム研究所
〒180-8585 東京都武蔵野市緑町3-9-11

E-mail: hirono.masami@lab.ntt.co.jp, uematsu.yoshihiko@lab.ntt.co.jp

あらまし ストリーム映像配信には、ネットワークの状況に応じてユーザへの配信レートを制御する仕組みが必要と考えられる。しかし、現在のレート制御方式はユーザ・サーバ間で1対1の品質把握とレート制御を行うため輻輳発生時に、偶発的に多くのパケット損失が発生したユーザのみ画質が大きく劣化する不公平性に問題があった。本稿では、同一の輻輳点を通るユーザに対し、均等なレートの割り当て、または特定ユーザに対する優先的な品質の維持を行う事を目的とし、ユーザ受信品質をエリア単位に集約し分析することによりネットワーク輻輳規模を推定し、その輻輳規模に応じてユーザ間に均等または優先度をつけてレートを割り当てる配信レート制御方式の提案とプロトタイプを用いた効果検証結果を報告する。

キーワード ストリーミング、レート制御、公平性、優先度、ネットワーク輻輳規模

Fairness and Priority aware Rate control system for Video distribution

Masami HIRONO and Yoshihiko UEMATSU

9-11, Midori-cho 3-chome, Musashino-shi, Tokyo, 180-8585 Japan

E-mail: hirono.masami@lab.ntt.co.jp, uematsu.yoshihiko@lab.ntt.co.jp

Abstract For video streaming, it is necessary to control a distribution rate according to the situation of the network. But, present rate control systems are performing quality monitoring and control between a server and a client. Therefore, video quality of some users is damaged greatly and video quality of others is not damaged. This paper describes distribution rate control systems which presume the degree of network congestion based on per-user quality statistics and assign distribution rate to users fairly or with priority according to the estimated degree of congestion.

Keyword Streaming, Rate control, Fairness, Priority, degree of network congestion

1. まえがき

現在、ADSL等のブロードバンド回線ユーザの増加に伴い、ストリーム映像配信サービスへの要求が高まってきている。しかし、現在のユーザの多くはベストエフォートのサービスを利用しており帯域幅や遅延等に関する品質保証が無く、ユーザがある点に集中した際に、その点がボトルネックとなり輻輳することがある。大きな帯域を必要とし、またデータの連続性が重要となる映像配信においては、この輻輳によるパケットの廃棄や遅延によって映像の停止等の大幅な再生品質の低下が発生してしまう。そのため、予め再生品質をある程度下げ送信レートを低下することによって映像停止等の大きな再生品質の劣化を抑える方式の検討が広く行われている。レートを制御する方式として、異なった映像サイズ、フレームレート、映像品質を持ち、受信するユーザの環境に合わせた映像を提供するエンコード方式であるスケラブル符号化が検討されている。一方、符号化としては単一のビットレートであるが、サーバやゲートウェイ装置が再生品質への影

響度が低い映像フレームを選択して間引き配信する方式も検討されている。通常の配信では、常時そのビットレート以上の実効帯域を必要とするが、これらのレート制御方式を利用することによって、受信中に輻輳によって実効帯域が低下した場合も受信するレートの制御を行うことによって、実効帯域に適合した品質の映像を提供可能になる。現状、これらのレート制御方式は、ユーザ端末からの品質測定等に基づき、各ユーザに対して最適なレートを選択し配信制御を行う方式が主流である。しかし、上記のレート制御方式では、クライアント端末とサーバ間における1対1の受信品質把握とレートの選択制御を実行しているため、同一の輻輳点を通る他のユーザまでは考慮されておらず、あるユーザ品質劣化予兆の通知に対しては、その通知ユーザへの制御しか実行することができない。そのため、ネットワーク輻輳が発生した際には、偶発的に多くのパケット損失や遅延が発生したユーザのみレート低下の制御を行い、そのユーザと同一の輻輳点を通る他のユーザとの受信品質には大きな差が生じ

てしまう可能性がある。また、そのレート低下の制御を受ける可能性があるユーザはすべてのユーザであり、レート低下処理を適用されるユーザの特定を行うことも難しい。

以上のような背景をもとに、本稿では、同一の輻転点を通過するユーザを収容したエリア単位にユーザから通知された品質情報を集約し、ユーザ品質分布のリアルタイム分析によってネットワーク輻転規模を推定する。その輻転規模に応じて、エリア内の全ユーザに対し均一に、またはエリア内を優先度によってグループ分けし優先度に基づいてグループ単位にレートを割り当てる配信レート制御方式を提案する。本提案方式によって、均等なレートの割り当て、または特定ユーザに対する優先的な品質の維持を実現することが可能となる。併せて、本提案方式を適用したプロトタイプを実験網で動作させることによって確認した効果検証結果を報告する。

2. 配信レート制御方式

本方式が対象とするシステムモデルを図1に示す。このシステムにおいて、クライアントは複数のネットワークエリアを介して配信サーバへ配信要求を行い映像の受信を行う。また、配信サーバはクライアントへビットレートを変更し配信する機能を持っており配信レート制御機能からの要求に応じて各クライアントへの配信レートを変更することが可能である。

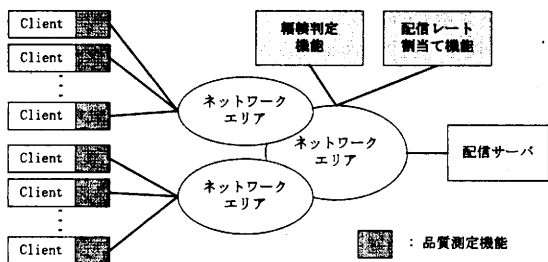


図1 システムモデル

2.1. 品質測定機能

映像ストリームの受信の際にクライアント端末上に配置された品質測定機能は、定期的にフレームレート、バッファ量等のアプリケーション品質、またはパケット再送、ロス等のトランスポート品質の測定を行う。併せて、品質測定機能は各測定値に対する閾値を持ち測定値と閾値の比較を行う。映像配信における品質劣化は、フレームレートの低下や映像停止等のように再生映像に影響が表れる体感品質劣化状態と、パケット再送等により修復されることにより再生映像には大きく影響が現れず測定品質にのみ影響が現れる品質劣化状態がある。本方式においては、パケット再送数

等に一定の閾値を設け、閾値よりも測定値の品質が良い場合は正常クライアント、品質が悪い場合は予兆クライアントとして輻転判定機能へ通知を行う。

図1の品質測定機能はクライアント端末上に配置されアプリケーションやNWインタフェースからデータを収集し品質測定を行う機能を実現した形態を表しているが、品質測定機能をNW内に配置しRTP（RTP Control Protocol）パケットから廃棄率（Fraction lost）や累積廃棄数（Cumulative Number of Packet Lost）、および到着間隔ゆらぎ（Interarrival Jitter）等の品質情報を取得する方法やTCPのACKパケットを解析し再送要求のためのSACK（Selective Acknowledgment）オプションや重複ACK（Duplicate Acknowledgment）等を分析することによって品質を把握する方式も検討している。

2.2. 輻転判定機能

輻転判定機能は、事前にネットワーク内のボトルネックとなる可能性があるエリアとクライアントを対応付けした情報を保持している。各クライアント端末上、もしくはNW内に配置された品質測定機能より正常状態/予兆状態の判定結果を受信した輻転判定機能は、クライアントとエリアとの対応付けから、定期的にエリア毎の全クライアント数、正常クライアント数、予兆クライアント数を把握する。次に、エリア毎に全クライアント数（A）と予兆クライアント数（S）のクライアント品質比率（r）を算出し、事前に設定された輻転判定閾値（T）との比較を行うことによってエリア毎のネットワーク輻転判定を行い、輻転状態である場合は配信レート割り当て機能に通知する。

$$r = (S / A) \quad (1)$$

- ・ $r \geq T \rightarrow$ 輻転状態
- ・ $r < T \rightarrow$ 正常状態

また、輻転判定機能は、エリア内の正常性を確認するための保護時間を持ちエリア別に保護時間を管理している。保護時間の間継続して正常状態を維持していたエリアは、輻転回復状態として配信レート割り当て機能に通知される。

2.3. 配信レート割当て機能

配信レート割当て機能は、輻転判定機能で把握しているエリア情報より、さらに詳細に区分したグループにクライアントを対応させ管理する。グループは配信レート低下/上昇を行う際の実行順位を決定する優先度と、配信レート低下処理における選択レートの下限を決定する最低配信レートの2つのパラメータによって決定される。エリア全体に公平に制御を行う場合は、エリア内の全クライアントを同一の優先度と最低配信レートとし1つのグループで管理することによって実現する。また、配信レート割当て機能はグループ（g=1

～n) 単位に選択レート (R_g) とクライアント数 (U_g) から、定期的に使用帯域 (B) の算出を行う。

$$B = U_1R_1 + U_2R_2 + \dots + U_nR_n \quad (2)$$

輻輳判定機能から輻輳状態の通知を受信した配信レート割当て機能は、該当するエリアで現在の配信レートが最低配信レートではなく、優先度が最も低いグループをレート低下処理の実施対象として選択し、配信サーバに対して該当のグループのクライアントへの配信レート低下制御要求を送信する。(図 2 (a)) 併せて、その時点の使用帯域 (B) を最大帯域 (B_{MAX}) として保持する。一方、輻輳判定機能から回復状態の通知を受信した配信レート割当て機能は、該当するエリアで現在の配信レートが最大配信レートではなく、優先度が最も高いグループを対象として選択する。次に、レート上昇処理の影響によるエリア輻輳を抑えるため、過去の実績帯域と上昇後の帯域を比較してレート上昇が可能かを判定するレート上昇判定を行う。レート上昇判定では、該当グループの現在のレート (R_s)、上昇後のレート (R_s')、クライアント数 (U_s) から上昇後の使用帯域 (B') を算出し、最大帯域 (B_{MAX}) との比較を行うことによって判定する。

$$B' = B + (R_s' - R_s) U_s \quad (3)$$

- ・ $B_{MAX} > B'$ → 上昇可能
- ・ $B_{MAX} \leq B'$ → 上昇不可

以上の処理によって、上昇可能と判定されたグループをレート上昇処理の実施対象として選択し、配信サーバに対して該当のグループのクライアントへの配信レート上昇制御要求を送信する。(図 2 (b))

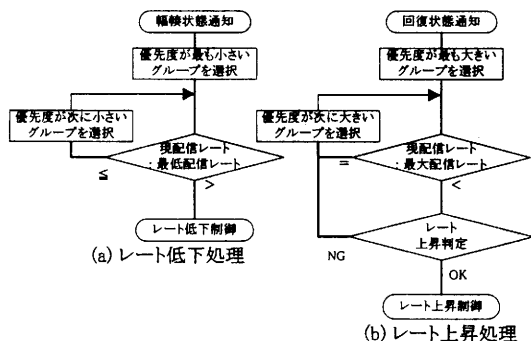


図 2 レート制御フロー図

3. 効果検証

本章では、前章での提案方式を基に作成したプロトタイプを用いて実施した検証結果を示し、本提案である配信レート制御方式が有効性を示す。

3.1. プロトタイプの動作概要

図 4 にはプロトタイプの動作概要を示す。本プロトタイプにおいて、クライアントは品質測定機能、配信

サーバから映像を受信し再生を行う映像再生機能、およびレート制御の実施のために配信レート割当て機能とのインタフェースとなる配信レート制御機能を有している。クライアントでの各機能は、市中映像再生アプリケーションの公開 API を元に作成を行った。また、レート制御管理サーバは輻輳判定機能、配信レート割当て機能を有している。

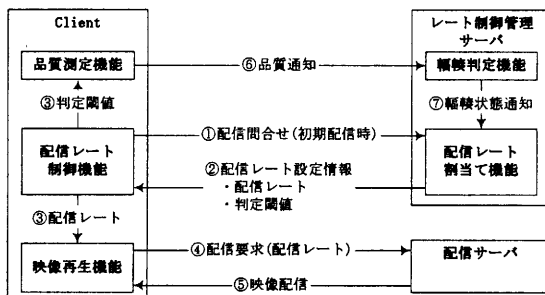


図 3 プロトタイプ動作概要

3.2. 検証構成

提案方式の検証のためプロトタイプを動作させた検証構成を図 4 に示す。クライアント 30 台とレート制御管理サーバが、Switch1 に、配信サーバが Switch2 に接続され、Switch2 と Switch1 の間は 10Mbps が使用可能な状態としている。配信サーバからは、1Mbps、500kbps、250kbps、125kbps の配信レートのコンテンツがクライアント要求に応じて切り替えて配信される。

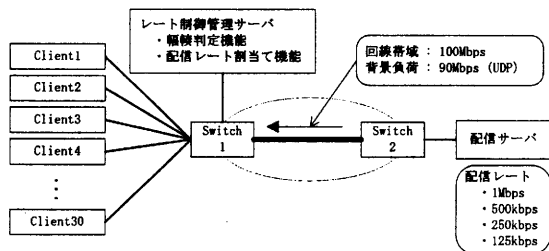


図 4 検証構成

品質測定機能においては、修復パケット数を品質情報として測定し、全受信パケット数に対する比率が 2% 以上となった場合に品質劣化予兆状態と判定する。また、輻輳判定機能においては、エリア内の全クライアントに対する品質劣化予兆状態のクライアントの比率が 20% 以上となった場合輻輳状態と判定する。保護時間は 1 分と設定し、1 分間正常状態を維持していた場合は輻輳回復状態と判定する。

本検証では、全クライアントを同一のエリアとし、30 秒間隔で接続数を増加して行き、全クライアント接続以降は、30 秒間隔で接続数の減少を行い、その際のプロトタイプの動作確認を行う。

3.3. 検証結果

エリア単位に公平制御を行った結果を図5に、グループ単位に優先度別の制御を行った結果を図6に示す。

クライアント接続数の増加時には、接続数増加に伴い使用帯域が10Mbpsに近づくタイミングで、品質劣化予兆状態となるクライアントが増加し、該当エリアを輻輳状態と判定し配信レートの低下処理が実施されることが確認できた。また、クライアント接続数の減少時には、定期的(保護時間)にレート上昇判定を行い、上昇可能と判定された場合のみ配信レートの上昇を行うことが確認できた。エリア単位の制御の際には、全ユーザを対象として、グループ単位にはグループBの25クライアントを対象として配信レートの低下が行われることを確認した。

併せて、各クライアントでのフレームレート等の映像再生品質の収集と目視による再生映像を確認した結果、ネットワーク輻輳の影響による映像停止やフレームレートの低下等の体感品質劣化は見られなかった。これは、本プロトタイプによって輻輳状態時に、配信レート制御が実施され輻輳状態が回復した結果であり、本提案方式の有効性として確認することができた。

4. まとめ

本稿では、ユーザから通知された品質情報を、同一の輻輳点を通過するユーザを収容したエリア単位に輻

輳規模を推定し、その輻輳規模に応じて、エリア内のユーザに対しレートを割り当てる配信レート制御方式を提案した。また、提案方式を実装したプロトタイプの効果検証を行い、その検証結果の報告を行った。本方式は、ネットワークエリア単位に輻輳規模を推定し、エリア単位もしくは、エリア内を優先順位等で区分したグループ単位にレートの割り当て制御を行う。本方式によって、同一の輻輳点を通過するユーザに対し、均等なレートの割り当て、または特定ユーザに対する優先的な品質の維持を行うことが可能となる。

今後は、ネットワーク内の背景負荷が変動する環境における、より正確な輻輳判定と制御方式の検討とそのプロトタイプによる実験環境での効果検証を行う予定である。

文 献

- [1] 下間 芳樹, 福田 和真, 奥村 誠 司, 鷹取 功人, 大野 次彦, 水野 忠則, “RTP を利用した動画配信システムにおける QoS 制御方式”, 情報処理学科論文誌, Vol.43, No.8, pp.2697-2706, 2002-8
- [2] 宋戸 豪, 中山 賢一, 島崎 昌史, 詫摩 武永, 松田 正之, 植松 芳彦, “ユーザ受信品質分布分析に基づく適応型アドミッション制御方式に関する検討”, 2003 信学全大, B-6-80
- [3] 詫摩 武永, 広野 正巳, 松田 正之, 馬杉 正男, “IP ネットワーク輻輳時における映像ストリーミング品質変動検出法の検討”, 信学技報, NS2002-298, pp.193-196, 2003-3

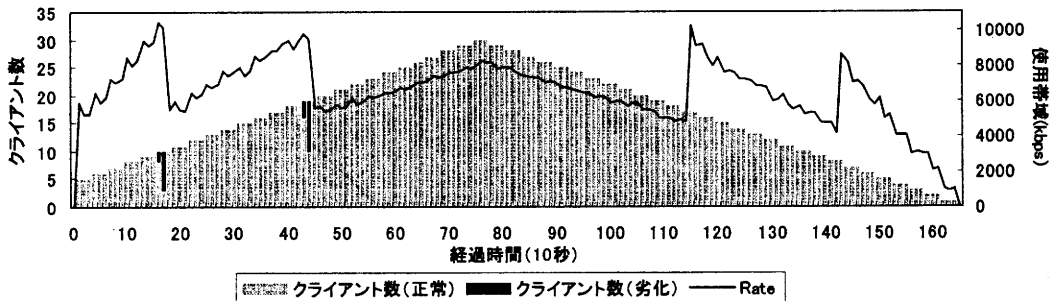


図5 検証結果(エリア単位の制御)

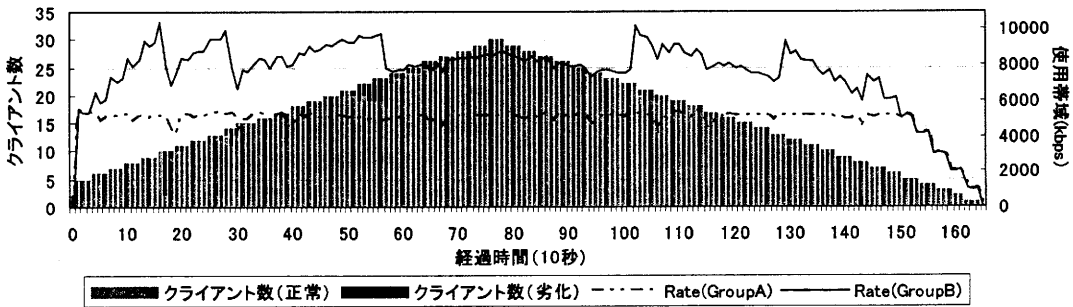


図6 検証結果(グループ単位の制御)