

インターネットに複数映像を伝送するレート制御技術

野島 晋二* 加賀 友美* 早川 佳宏*

*松下電器産業(株) マルチメディアシステム研究所

近年、インターネットやイントラネットなど、帯域を保証をしないネットワーク上で映像を伝送する要求が高まっている。これらのネットワークでは、複数のストリームが帯域を共有しているため、ストリームが通過する中でもっとも帯域の狭い部分(つまりボトルネックの位置)は時々刻々と変化している。本研究では、複数のストリームを伝送する時に、どのストリームと、どのストリームがボトルネックを共有しているのかを検出し、その帯域を各ストリームに割り当てる方式を提案する。この方式は、まず、輻輳を同時に検出したストリームを同じボトルネックを共有しているストリームと判断する。次に、ボトルネックの帯域を、各ストリームの伝送レートの合計より求める。最後に、求めたボトルネックの帯域を各ストリームに割り当てることにより、全てのストリームに平等に帯域を割り当てることのできる。

A Rate Control Method for Internet Multi Video Transmitting

Shinji Nojima Tomomi Kaga Yoshihiro Hayakawa

Multimedia Systems Research Laboratory
Matsushita Electric Industrial Co.,Ltd.

Recently it is required to transmit digital video pictures and audio to networks without bandwidth guarantee such as the Internet and Intranets. The bandwidth we can use and the bottlenecks of the networks are changing always, in these networks. In this paper, we propose a new method for finding out the bottlenecks and the streams which pass through the bottlenecks. And this method allocate the transmitting rates of streams from the bottleneck bandwidth.

1 はじめに

近年、インターネットやイントラネットの普及や、映像や音声を用いたマルチメディアサービスの増加に伴ない、帯域保証をしないネットワーク上で映像を伝送する要求が高まっている。

インターネットやイントラネットは、複数のユーザが共通の帯域を共有するため、仕組みが簡単で、かつ低コストであるという利点があり、急速に普及している。しかし、これらのネットワークはその仕組み上、各ユーザに固定の帯域を保証できない。

これに対し、最近注目を集めている映像や音声のストリームでは、リアルタイムにデータを伝送する必要がある。もし、映像や音声のレートがネットワークの帯域を上回れば、必要時間内に、データが到着せず、リアルタイム性が保証できなくなるか、パケット損失が生じデータの品質が保証できなくなる。

従って、これらのネットワーク上で映像や音声のストリームを伝送するためには、ネットワークの帯域に合わせて、データレートを変更する必要がある。

この方法を示した研究としては、例えば、文献1や文献2に記載の方法がある。これらの方法では、ストリームの輻輳を検出すると一時的に映像や音声のレートを削減し、一定時間、輻輳が検出されないと再びレートを増やすことにより、常に、ネットワーク帯域に合わせたレートで、映像や音声の伝送を行うことができる。

しかしながら、これらの文献では、複数のストリームが同じネットワークのボトルネックを共有する場合については述べられていない。これらの方法では、各ストリーム毎に輻輳の検出と伝送レートの決定を行っていたため、一つのストリームが帯域を確保してしまうと他のストリームでは

帯域を確保できず、ストリーム毎に帯域割り当ての不平等が生じてしまう。

そこで、我々は、同じボトルネックの帯域を共有するストリームを自動的に検出し、各ストリームに適切な帯域を割り当てることができる伝送レート制御方式を提案する。

この方式は、まず同じ帯域を共有するストリームを、輻輳を検知するタイミングより求め、次に、ボトルネックの帯域を、各ストリームの伝送レートの合計より求める。最後に、求めたボトルネックの帯域を各ストリームに割り当てることにより、全てのストリームに平等に帯域を割り当てることができる。

また、本研究では、この方式の有効性を検証するために、我々が開発してきたシステム「文献3」に本方式を実装し評価を行った。

このシステムは、複数地点のリアルタイム映像を、一つの端末で同時に見ることのできるもので、中継サーバが複数地点のカメラの映像ストリームを集め、レートを調整しながら、各端末に送信している。端末では、複数の映像を同時に見ることができるため、各ストリーム間のレートのばらつきを解消することが重要な課題となっていた。

本研究では、初めに、従来方式での課題を明確にし、次に、本方式の動作手順を明らかにする。最後に、実験を行い本方式を評価した。

2 従来方式の課題

従来方式では、複数のストリームが共通のネットワーク帯域を奪い合い伝送レートに不平等が生じる。

インターネットやイントラネットでは、複数のユーザが様々なアプリケーションや通信プロトコルを用いてネットワークを利用している。そのため、特定のユーザが固定の帯域を使用すること

ができず、映像や音声など固定帯域を必要とするデータの転送は困難であった。

この問題を解決する一つの方法として、RSVPが提案されている。このプロトコルは予めネットワーク帯域の一部をユーザに割り当てるものであり、ユーザは保証された帯域を使用することができる。しかし、一つのストリームがサーバからクライアントに到達するまでには複数のネットワークを経由していかなければならず、RSVPを使用するためには全てのネットワークが、このプロトコルをサポートしている必要がある。また、経由する全てのネットワークでユーザの要求に耐えられる帯域を提供する必要もある。そのため、現状ではインターネット上でRSVPが普及するには至っていない。

そんな中で、現状のインターネットを利用して映像や音声を伝送する技術が注目を集めている「文献1」「文献2」。これらの技術では、ストリームが通過するネットワークの中でボトルネックとなる部分を見つけ出し、そのボトルネックの帯域に合わせて送出するストリームのレートを決定している。

これらの方法は以下の手順によりボトルネックの帯域を測定する。

- (1) ストリームが輻輳を検出したら送出レートを一定レート削減する。
- (2) 一定時間、輻輳を検出しなければ再び送出レートを増やす。

しかし、この方法では、複数のストリームが同じ帯域を通過する場合に問題が生じる。すなわち各ストリームが独立に帯域を確保するため、一度、他のストリームが帯域を確保すると、後から来たストリームが帯域を確保できなくなる。これは、ストリームによっては、まったくデータが伝送できなくなる可能性があることを示している。

本研究では、同じサーバから出力するストリームに関しては、サーバで伝送レートを調節する

ことにより、平等に帯域を割り当てられることに着目し、各ストリームに適切に帯域を割り当てる方法を提案する。

3 ボトルネックを共有するストリームの検出方法

3.1 方式

本方式では、ネットワークの状況により時々刻々と変化するボトルネックの帯域とそこを通過するストリームを、輻輳検知のタイミングより求めている。

この方式では、まず、サーバが送出するストリームの中で、同時に輻輳を検出したストリームを、同じボトルネックを通過するものと判断する。これは、ボトルネック内で輻輳が生じれば、そのボトルネック内のストリーム全てに輻輳の影響が生じることを利用している。輻輳の検出方法としては、UDPではパケット損失を測定する方法があり、TCPでは、伝送遅延やジッターなどを測定する方法がある。本研究では、TCPパケットの送出遅延を測定することにより、輻輳の検知を行う。これは、送出遅延はアプリケーションレベルからでも測定できるため実装が容易であり、柔軟性が高いためである。

次に、同じボトルネックを通過するストリームを求めたら、そのストリームの伝送レートの合計を求める。この合計値がサーバが、その時に利用できるボトルネックの帯域となる。

さらに、求めた帯域を各ストリームに分配する。本方式では一度に全てのストリームのレートを均等にするのではなく、徐々にそろえていく方法を採用している。これは、ストリームの伝送レートを変更すると、そのストリームが通過する全てのネットワークの帯域に影響を与え、ボトルネックの位置が変わる可能性があるためである。一度に変更する伝送レートが小さければ、ボトルネックの位置が変わったとしてもその影響を最小限に押さえることができる。

また、サーバが利用できるネットワークの帯域は、他のユーザによるネットワークの使用状況によっても変化するので、本方式においても、従来の方式と同様に、一定の間隔で伝送レートを増やしている。

3.2 方式の手順

以下に本方式の手順を示す。

- (1) 各ストリームを要求レートでネットワークに送出する
- (2) 送出したストリームに伝送遅延がないかを調べる。
- (3) 一定時間輻輳の検出が発生しなかったら、ストリームを一つ選択し、その要求レートを増やす
- (4) もし、遅延を検出したのなら、一定時間、ほかのストリームでも遅延が発生しないかどうか調べる。
- (5) 最初の遅延発生から一定時間内に遅延を検出したストリームを全て、同じボトルネックを通過するストリームとして判断し、その伝送レートを以下の式より求める。

$$\text{NewRate} = \text{ThroughPut} \times \text{Rate} / \text{TotalRate}$$
ただし、NewRate は新しい伝送レートの要求値、ThroughPut は同じボトルネックを通過するストリームの、実際に伝送できたレートの合計、Rate は前の伝送レート、TotalRate は要求レートの合計である。

以上の手順を繰り返すことにより、複数のストリームに適切な帯域の割り当てを行うことができる。

4 実験

本方式を、実際のシステムに組み込みその評価を行った。

4.1 実験システム

評価には、我々が開発してきた、複数地点の映像を同時にWWWブラウザ上で見ることができるシステムを使用した「文献3」。

このシステムは、カメラで撮影した映像をネットワークに送出するカメラ用WWWサーバと、複数のカメラ用WWWサーバからの映像を受信しながら、その映像の解像度とフレームレートを変換し、端末に送信する中継サーバと、中継サーバから複数の映像を同時に受信し、表示する端末から構成されている。このシステムの構成を図1にGUIを図2に示す。

このシステムでは、伝送する映像にDVフォーマットで圧縮されたものを使用している。これは、最近普及しているデジタルビデオカメラで使用されている規格で、JPEGのようにフレーム内で完結した圧縮を行っているため、フレーム間引きが自由にできるという特徴がある。中継サーバは、ユーザからの要求に合わせて解像度を切り替え、フレームレートを伝送レートに合わせて自動的に変換している。また、端末での、映像の表示はWWWブラウザにDVフォーマットをデコードするPluginソフトを組み込むことにより行っている。

本研究では、中継サーバに、ボトルネックを共有するストリームを検出し、その伝送レートを決定するモジュールを実装し、評価した。

4.2 実験環境

本実験では、カメラ用WWWサーバにPentium200MHzのNTワークステーションを使用した。このサーバにIEEE1394規格のシリアルバスを接続し、カメラで圧縮された映像を同時に2台分取り込んでいる。中継サーバにも同じくPentium200MHzのNTワークステーションを使用し、端末には、Pentium200MHzのWindows95マシンを使用した。ネットワークには10M Ethernetを使用した。

実験システムの構成は、カメラ用WWWサーバを2台使用し、それぞれ2台のカメラを接続している。中継サーバは、これら4つのカメラ映像を、2台の端末に伝送している。

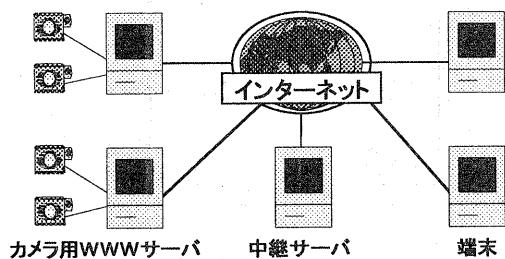


図1 実験システムの構成

4.3 実験方法

実験は、LAN内に擬似的に負荷をかけ、帯域を制限することで行った。

実験の項目は以下の2点である。

(1) 伝送レートの割り当て状況

本方式により、ストリーム毎の伝送レートの差がどの位、改善されるかを測定した。

ここでは、各ストリームが別々に伝送レートの制御を行う場合と、本方式を使用した場合との比較を行っている。ストリームの数は4つ、測定はそれぞれ100回行い、0Kbps~600kbpsまでの各レートの発生確率を測定している。

(2) 伝送レートの収束状況

本方式により、ネットワーク帯域が変化した時に伝送レートが適切な値に収束するかどうかを測定した。

ネットワークの帯域は、データをまったく伝送していない状態から、端末1の二つのストリームが合計が1Mbps、端末2の二つのストリームの合計が500kbpsに変更した。この測定は50回の平均を取っている。

なお、どちらもパケットサイズは1024Byteとし、250msに一回、ストリームの要求レートを上げている。また、伝送レートはサーバからの送出レートを測定した。

4.4 実験結果と評価

図3に(1)の実験の結果を示す。この実験では本方式は78%の確率でストリームの伝送レ

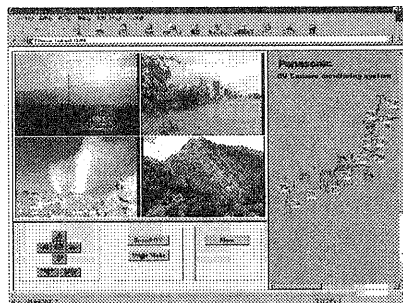


図2 実験システムのGUI

ートが300kbps~400kbpsの間に収まっている。従来方式では、伝送レートがこの領域に収まっているのは約52%となっている。特に従来方法では、100kbps以下や600kbps以上など中心から離れた位置まで伝送レートが分散している。

このことから本方式では、全てのストリームの伝送レートが、ほぼ等しくなり、ネットワーク帯域を平等に使用していることがわかる。たまた、中心から外れた伝送レートが発生するのは、定期的にストリームの伝送レートを上げているため、短時間ではあるがネットワークの輻輳が生じているのが原因と考えられる。

図6に(2)の実験の結果を示す。この実験では、ストリーム1とストリーム2が端末1に対して送信されたものであり、ストリーム3とストリーム4が端末2に対して送信されたものである。測定開始時のレートが異なるのは、ストリーム毎に別々に端末から送信要求を出しているため、送信開始時間がばらつくためである。この実験では測定開始から約5秒でストリーム1とストリーム2がそれぞれ500kbpsに、ストリーム3とストリーム4がそれぞれ250kbpsに収束している。このことから本方式では、端末1と端末2のそれぞれの帯域に合わせてレートの割り当てが行われていることがわかる。

これらの実験から、本方式がネットワークのボトルネックを見つけ出し、そのボトルネックを通

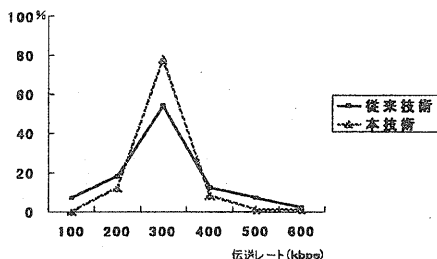


図3 伝送レートのばらつき

過するストリームに帯域を適切に割り当てていることがわかる。

5 おわりに

本研究では、複数のストリームが共通のボトルネックを通過するときの問題点を明らかにし、その問題を解決する伝送レート制御方式を提案した。また、実際のシステムに本方式を実装し、実験環境内で、その有効性を確認した。

今後の課題としては、実際にインターネット上で、本方式を使用した時の伝送レートの割り当て状況と、収束状況を確認することなどがある。

参考文献

- [1] T.Sakatani, "Congestion Avoidance for Video over IP Networks" Proc. of International COST 237 Workshop: Multimedia Transport and Teleservices, Nov.1994
- [2] 加藤、木村、鈴木 "QoSを保証しないネットワークのための輻輳制御機能を有する連続メディア情報転送プロトコル" 情処研究会報告 1997年 DPS-83 No8
- [3] 南摩、加賀、野島、早川 "インターネットを活用した映像多元モニターシステムの開発" 情処全国大会 1997年春

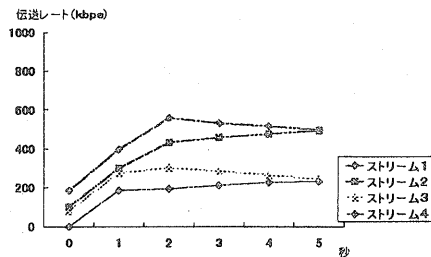


図4 帯域変化時の伝送レート