

高品質動画像伝送を想定したネットワーク性能評価ツールの開発

川上 貴宏 岸田 崇志 河野 英太郎† 前田 香織†

E-mail: kawakami@nets.ce.hiroshima-cu.ac.jp

広島市立大学大学院 情報科学研究科
〒 731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1
† 広島市立大学 情報処理センター

概要

近年の高速・広帯域ネットワーク環境の急速な普及により、高品質動画像のリアルタイム伝送は重要なアプリケーションの1つとなってきている。これにより、実際の動画像データを送信することなく、端末間のネットワークが要求された実効帯域や信頼性を満たしているかの診断が必要となる場面が増えてくると考えられる。本稿では高品質動画像伝送を想定した性能評価に必要な項目について示し、実際に開発・検証を行ったネットワーク性能評価ツールについて述べる。

Development of a Network Performance Diagnosis Tool to Transmit High Quality Moving Pictures

Takahiro KAWAKAMI Takashi KISHIDA Eitaro KOHNO † Kaori MAEDA †

Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

† Information Processing Center, Hiroshima City University

3-4-1 Ozuka-Higashi, Asa-Minami, Hiroshima, 731-3194, Japan

Abstract

As spreading broadband networks, real-time transmission systems of high quality moving pictures are one of important applications. Therefore, we need a diagnosis whether a network has enough bandwidth and reliability to transmit stream data such as high quality moving pictures, without actually transmitting moving pictures. In this paper, we discuss required items for measurements in transmitting high quality moving pictures, and describe our development and verification of a network performance diagnosis tool.

1. はじめに

近年、FTTH(Fiber To The Home), 広域 Ethernet 等, 光ファイバを用いた広帯域ネットワークが身近に登場する場面が増えてきている。これに伴い、今後高品質動画像のリアルタイム伝送に代表される広帯域 UDP ストリーム伝送を行う機会が増えてくると考えられる。高品質動画像伝送システムの例としては DVTS(Digital Video

Transport System)[1]や mpeg2ts(MPEG2 over IP Transfer System)[2][3]等が挙げられる。これらのアプリケーションはその性質上、数 Mbps～数 10Mbps という広帯域と低パケットロス率、低ジッタという高信頼性を要求する。このため、これらのアプリケーションを正常に動作させるためにはネットワークの性能が規格通りに発揮されていることが重要となる。高品質動画像伝送の

ようにネットワークの帯域を使い切るようなアプリケーションを利用した際に、機器の設定の不備等が原因でネットワークの性能が規格通りに発揮されていないことが初めて明らかになることは、珍しいことでは無い。これは、ホームページの閲覧やメールの送受信等のネットワークの利用時には気付くことは難しい。また、Netperf[4]、Iperf[5]等の既存のネットワーク性能評価ツールでは、バースト的ロス、パケット順序エラー等、高品質動画像伝送を行うための事前測定に求められるいくつかの測定が十分できないと考えられる。そのため、使用するネットワークで高品質動画像伝送が可能であるかは、実際に機材を揃え映像を送受信してみるまで分からない場合が多い。そこで、特別な機材を必要とせず、実行するだけで使用するネットワークが高品質動画像伝送を行うために必要な帯域、信頼性を確保できているかどうかを知るための出来るツールが求められている。本研究では、高品質動画像伝送を想定したネットワークの性能評価ツール“Sperf”の設計と実装を行い、いくつかのネットワークで測定した結果を示すことにより本ツールの評価・検証を行った。

本稿では、2章で高品質動画像伝送を想定したネットワーク性能評価ツールに求められる測定項目についての考察と設計したツールの概要について述べ、3章で実装の詳細について述べる。さらに4章で開発したツールの評価及び、それを用いてのネットワークの評価を行い、今後の課題についてまとめる。

2. 高品質動画像伝送を想定したネットワーク性能評価ツール

2.1 測定項目

我々は、高品質動画像伝送を想定したネットワーク性能評価ツールの測定項目として、以下の項目が必要であると考えた。

- ・ 有効帯域
- ・ パケットロス率
- ・ バースト的ロス数
- ・ パケット順序エラー数
- ・ RTT (Round Trip Time)
- ・ ジッタ

有効帯域は、ある帯域で送信されたストリームを実際に受信できた帯域であり、送出する動画像

等のストリームデータの使用帯域を考える上で重要となる。

パケットロス率は、データの伝送中にどれだけパケットが落ちているかをパーセンテージで示す。圧縮した動画像や音声を送送する場合、僅かなパケットロスが画質または音質に大きな影響を与えるため、パケットロス率は重要な測定項目となる。

バースト的ロス数は、連続して多くのパケットが落ちた回数を示す。近年、パケットロスへの耐性を高めるために FEC(Forward Error Correction)を実装しているストリーム伝送アプリケーションが増えており、バースト的ロス数を測定することは、FEC の方式、冗長度を考える上で参考になると考えている。

パケット順序エラー数は、パケットの到着順序が入れ替わった回数を検出する。リアルタイム性の強いストリーム伝送においては、パケットの到着順序が重要であるためこの項目が必要となる。

ジッタは、パケット到着間隔の時間的な揺らぎを表す。ストリーム伝送においてジッタの値が大きいと、特にリアルタイム性の強いストリームを送送する場合、RTP を実装していても問題が発生する可能性が高くなる。よってジッタはストリーム伝送を行う上で非常に重要な測定項目となる。

RTT は、ストリーム伝送中のネットワークのRTT を示すもので、高品質動画像伝送システムを用いて会話等の双方向的なやりとりを行う際に重要な測定項目となる。

2.2 Sperf の仕様・概要

Sperf は、任意の帯域の擬似的な広帯域 UDP ストリームを流すことでネットワークの状態を測定し、高品質動画像伝送を行うために必要な帯域、信頼性が確保できているかどうかを診断するツールである。現在測定可能な項目は2.1で述べた6項目の内、RTTを除いた5項目となっている。Sperfでは測定に情報パケット、データパケットの2種類のパケットを用いている。情報パケットは、測定に必要な各種情報がセットされたパケットで、最初に受信側に送信される。データパケットは擬似的なUDPストリーミングを構成するパケットであり、RTC(Real Time Clock)によって生成されたシグナルに従って一定の間隔で送信される。また、UDPヘッダにRTP[6]ヘッダが付加されたパケットフォーマットを持ち、RTP

ヘッダには測定に必要なパラメータであるシーケンス番号、送信時刻がセットされる。ペイロード部は設定帯域に応じて長さが決定され、ダミーデータが格納される。

Sperfの動作について図1を用いて説明する。

- ① 受信部で、送信部からの情報パケットの待ち受けを開始する。
- ② 送信部に、パラメータとして設定帯域、送信時間を与える。
- ③ 送信部は、与えられたパラメータに応じたペイロード長、送信間隔、送信パケット数を情報パケットにセットして送信する。
- ④ 送信部は、データパケットを設定帯域に応じて決まる送信間隔に従って受信部に送信する。
- ⑤ 受信部は、各データパケットについて、RTPヘッダに含まれるシーケンス番号と送信時刻、受信時刻をメモリに保存する。
- ⑥ 受信部は、全てのパケットを受信した後、情報パケットに含まれる情報と保存したパケット情報から各測定項目の結果を求め、出力する。

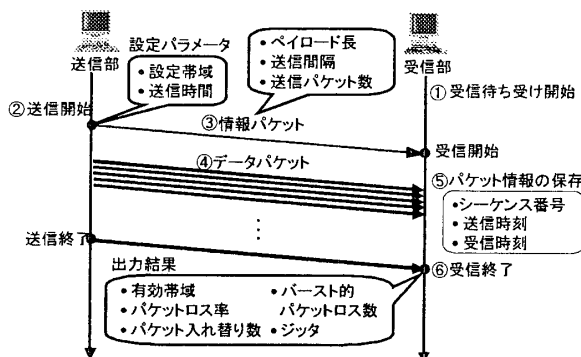


図1. Sperfの動作

2.3 Sperfの測定値の導出法

各測定項目の測定値の導出法について説明する。

(1) 有効帯域

有効帯域は、受信した総パケットサイズを全てのパケットの受信にかかった時間で割った値となる。

(2) パケットロス率・バースト的ロス数

パケットロス率を求めるために、図2のように

まずメモリ内に到着順に格納された受信パケットのシーケンス番号を昇順に整列させる。整列後のシーケンス番号を見ることで、損失したパケットが分かる。例として、図2では6番、9~14番のパケットがロスしていることが分かる。ロスしたパケットの総数を送信部が送信したパケットの総数で割った値がパケットロス率となる。また、Sperfでは連続して5つ以上のパケットがロスしていた場合バースト的ロスが発生したと判断する。例として、図2では9~14番のパケットが6つ連続してロスしているため、バースト的ロスは1回発生したと考える。

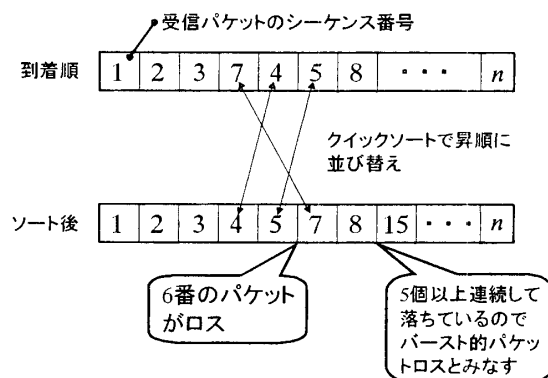


図2. パケットロスの導出

(3) パケット順序エラー数

Sperfでは、入れ替わりの定義としてパケットを受信した際、1つ前に受信したパケットより小さなシーケンス番号を持つパケットを受信した場合、入れ替わりが発生したと判断する。例として図3では、シーケンス番号7番の後に4番、8番の後に5番が到着しているが、この場合入れ替わりは2回発生したと考える。

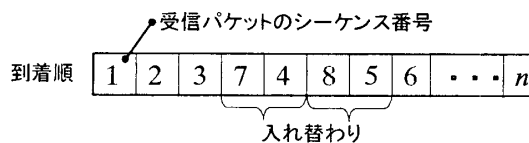


図3. パケット順序エラーの導出

(4) ジッタ

ジッタの導出について、Sperfでは図4のようにまず各データパケットの送信時刻と受信時刻の差である *sub* を求める。*sub* の平均値をジッタの基準値 *Base_jitter* とする。そして、各 *sub* と *Base_jitter* の差の平均値をジッタと定義する。

送信側と受信側の時計の精度には差があるため *sub* の値は増加, 減少の傾向を示すことがあるが, Sperrf ではこの精度の差を補正した値を用いている. また, 各パケットの揺らぎを求める際に平均値との差をとるため, 送信側と受信側の時刻の初期値が異なっても正確なジッタを求めることができる. 注意点として, アルゴリズムの性質上ジッタが時間と共に増加, または減少するネットワークにおいては *sub* の値が補正されてしまうため正確なジッタを求めることができない.

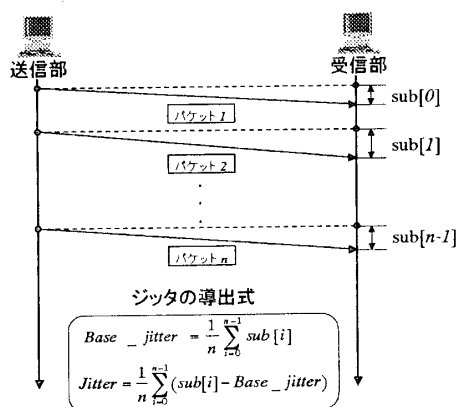


図 4. ジッタの導出について

3. 実装

3.1 開発環境

Sperrf の開発は表 1 の環境で行った. 送信側と受信側に使用した PC は, それぞれ 100Mbps 対応のネットワークインターフェースを持ち, 同じスイッチ (Planex 社の FX-08H) に接続されている.

表 1. 開発環境

	送信側	受信側
OS	VineLinux2.5	VineLinux2.5
CPU	Pentium III 450MHz	Celeron466Mhz
Memory	128Mbyte	128Mbyte

3.2 送信部の実装

送信部を 2 章で述べた仕様に従って C 言語を用い以下のように実装を行った.

・ 使用ポート

情報パケット, データパケットの送信に 9876 番を使用

・ 設定帯域

1Mbps~96Mbps の範囲で, 1Mbps 刻みで設定可能. デフォルト値は MPEG2 の伝送を想定した 6Mbps となっている.

・ 送信時間

1 秒~292 秒の範囲で, 1 秒刻みで指定可能であるが, 設定帯域が大きくなるほど設定可能な値が小さくなる. 現在の仕様では 96Mbps の時最大 36 秒である. デフォルト値は, 送信パケット数 50000 個 (シーケンス番号の最大値) となっている.

・ 送信間隔

送信間隔は設定帯域に応じて 1/1024 秒, 1/2048 秒, 1/4096 秒, 1/8192 秒のいずれかが選択される.

・ 使用法

RTC を用いて 64Hz 以上の周波数でシグナルを発生させているため, root 権限での実行が必要である.

オプションを入力しなかった場合は, デフォルト設定で起動し, 送信先ホスト名も入力しなかった場合は, 使用法が表示される.

send [オプション] 送信先ホスト名(IPアドレス)

- t 送信帯域を Mbps 単位で指定するオプション.
- s 送信時間を秒単位で指定するオプション

送信部の実行例を図 5 に示す.

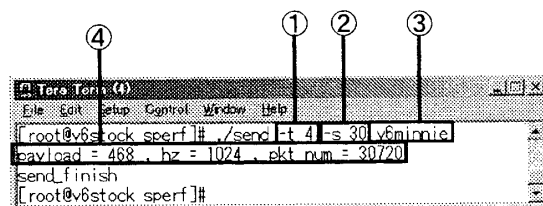


図 5. 送信部の実行例

- ① 帯域の設定例. ここでは 4Mbps.
- ② 送信時間の設定例. ここでは 30 秒.
- ③ 送信先ホスト名の設定例. ここではホスト名で設定している.
- ④ 情報パケットにセットされるペイロードサイズ, 送信間隔, 送信パケット数の値の例. ここでは, ペイロードサイズ 468byte, 送信間隔 1/1024, 送信パケット数 30720 が

セットされている。

3.3 受信部の実装

受信部を 2 章で述べた仕様に従って以下のように実装を行った。実装には C 言語を用いた。

- ・ 使用ポート
各パケットの受信に 9876 番を使用。
- ・ 測定結果
各測定結果は 2.3 で述べた導出法で求められる。
- ・ 使用法
受信プログラムを実行するだけで動作し、送信部からのパケットを待ち受ける。
\$ recv
- ・ 備考
保存したパケット情報、各測定項目の途中結果をログファイルに書き出す。
gnuplot 等を用いてグラフ化が可能。

受信部の出力結果例を図 6 に示す。

設定帯域	有効帯域	パケットのロス率	パケット順序エラー数	パースト的ロス数	ジッタ
(Mbps)	(Mbps)	(%)	(回)	(回)	(msec)
3.997696	3.998324	0.000000	0	0	0.012992

図 6. 受信部の出力結果例

4. 評価

4.1 既存のネットワーク性能評価ツールとの機能比較

高品質動画伝送に対応したネットワーク性能評価ツールに求められる機能について、Sperf を既存のツールと比較した結果を表 2 に示す。

表 2. Sperf と既存のツールの機能比較

	帯域	パケットロス	パースト的ロス	パケット順序エラー	RTT	ジッタ
Sperf	○	○	○	○	※1	○
Netperf	○	×	×	×	○	×
Iperf	○	○	×	×	×	○

※1 対応中

Netperf は、TCP、UDP によるネットワークのスループット（ここでは、ネットワークが使用

可能な最大の帯域とする)、RTT の測定が可能である。しかし、測定に使用するパケットの帯域指定が不可能であり、また、パケットロス率等ネットワークの信頼性に大きくかわる項目の測定も不可能である。

Iperf は、オプションの設定により任意の帯域の UDP ストリームを用いた測定が可能であり、パケットロス率、ジッタを求めることも可能となっている。しかし、バースト的ロス、パケット順序エラーの検出は不可能である。

Sperf はストリーム伝送を想定して設計されているため、動画像等の実際のストリームデータにより近い、送信間隔を制御された任意の帯域の UDP ストリームを用いた、帯域、パケットロス率、バースト的ロス数、パケット順序エラー、ジッタの測定が可能となっている。

4.2 Sperf の測定値の評価

(1) 有効帯域

受信部を実行するホストで Ethereal[7]を同時に起動し Sperf の測定結果と Sperf が送出したパケットを Ethereal で採取し分析した結果求めた帯域を比較した。その結果、Sperf が設定帯域通りにパケットを送出、測定できていることが確認できた。

(2) パケットロス率・バースト的ロス数

送信部と受信部の間に、任意パケットロスを生成可能な PC を設置し、それを経由させることで設定したロス率通りのロス率を検出できていることが確認できた。また、ログファイルよりバースト的ロスも正確に検出できていることが確認できた。

(3) パケット順序エラー

送信部と受信部の間に、パケットの順序の入れ替わりを発生可能な PC を設置し、それを経由させることでパケットの入れ替わりを検出できることが確認できた。

(4) RTC の精度

送信間隔 1/1024 秒(≒977 マイクロ秒)の時、平均誤差 0.0013%(≒ 1.3×10^{-2} マイクロ秒)となり、十分な精度が得られていることが確認できた。

4.3 Sperf を用いたネットワークの評価

中国・四国インターネット協議会(CSI)[8]が主催する、広島地域の学校における高度マルチメディア通信に関する研究プロジェクト 2 で用いら

れている 10Mbps の実験用広域 Ethernet 内の 4 サイト(広島市立大学, 広島市立基町高校, 広島市立白島小学校, 広島市立井口明神小学校)間を Sperf を用いて測定した。3 つの小学, 高校から広島市立大学に向けてパケットを送出した測定結果を表 3-1~3-3 に示す。なお, バースト的ロス, パケット順序エラーは発生しなかったため省略している。

表 3-1 より, この 2 サイト間では 8Mbps のストリーム伝送を行うために十分な性能が得られているが, 10Mbps のストリーム伝送時にはパケットロスが発生するだけでなく, ジッタの値が非常に大きくなっていることが分かる。また, この状態で ping コマンドを用いて RTT の測定を行ったところ, 通常時 1.5msec に対し 10Mbps 伝送時では 785msec と大幅に増加していることが確認された。

表 3-2 より, この 2 サイト間では 8Mbps のストリーム伝送を行うために十分な帯域が得られているが, 全体的に他のサイトで測定を行った場合と比較してジッタの値が大きくなっていることが分かる。また若干ながらパケットロスも発生している。しかし, 10Mbps のストリーム伝送時においてジッタ, RTT が急激に増加する症状は見られなかった。

表 3-3 より, この 2 サイト間では 8Mbps のストリーム伝送を行うために十分な性能が得られていることが分かる。10Mbps のストリーム伝送時においてもジッタ, RTT が急激に増加する症状は見られなかった。今回測定を行った 3 つの組み合わせの中でもっとも良い結果と言える。

10Mbps のストリーム伝送時に基町高校でジッタ RTT が異常に大きくなる現象, 白島小学校のジッタが全体的に大きくなっている現象は, この広域 Ethernet がトラフィックの少ない理想に近いネットワークであること, 他のサイトの測定では発生していない事からそれぞれ, スイッチ等の中継機器固有の問題であると考えられる。

表 3-1. 10Mbps の広域 Ethernet の測定結果
(基町高校→広島市立大学)

設定帯域 (Mbps)	実効帯域 (Mbps)	パケットロス率 (%)	ジッタ (msec)
4	3.997	0	0.398
6	5.995	0	0.398
8	7.993	0	0.399
10	9.486	0.023	145.595

表 3-2. 10Mbps の広域 Ethernet の測定結果
(白島小学校→広島市立大学)

設定帯域 (Mbps)	実効帯域 (Mbps)	パケットロス率 (%)	ジッタ (msec)
4	3.996	0	2.316
6	5.995	0	2.316
8	7.993	0.013	2.291
10	9.484	0.011	3.114

表 3-3. 10Mbps の広域 Ethernet の測定結果
(井口明神小学校→広島市立大学)

設定帯域 (Mbps)	実効帯域 (Mbps)	パケットロス率 (%)	ジッタ (msec)
4	3.997	0	0.606
6	5.995	0	0.614
8	7.993	0	0.648
10	9.483	0.013	0.722

5. まとめ

本稿では, 高品質動画画像伝送を想定した新たなネットワーク性能評価ツールの設計と実装について述べた。今後は, 100Mbps 以上の測定用ストリームの送出への対応, より長い送信時間への対応, RTT 測定機能の実装を行い, 実ネットワークを測定してツールの評価を進めていきたい。

[1] "DVTS Project"

<http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>.

[2]大塚 玉記, 西村 浩二, 相原 玲二, 前田 香織, "FEC を用いた Mpeg2overIP システムの開発と評価", 情報処理学会研究報告, 2001-DSM-24-8, pp.43-48, (2001).

[3]近堂 徹, 大塚 玉記, 西村 浩二, 相原 玲二, "MPEG2 over IP 伝送システム mpeg2ts の開発と性能評価", DICOMO 2002 シンポジウム論文集, pp.157-160, (2002).

[4] "The Public Netperf Homepage",

<http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>.

[5] "NLANR/DAST Projects",

<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf>.

[6] H.Schulzrinne, S.Casner, R.Frederick, V.Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC1889, (1996).

[7] "The Ethereal Network Analyzer",

<http://www.ethereal.com>.

[8] "マメ de がんす 2 プロジェクト",

<http://www.csi.ad.jp/activity/2MAMEdeGansu/>.