

Active Measurement における パケット損失率推定方式の提案とその評価

松本 佳子[†] 川原 憲治^{††} 尾家 祐二^{††}

^{††}九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科

〒 820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

Tel: 0948-29-7696 Fax: 0948-29-7651

E-mail: †yoshiko@nile.cse.kyutech.ac.jp, ††{kawahara,oie}@cse.kyutech.ac.jp

あらまし 近年、インターネットは多種多様のトラフィックのサービス品質 (Quality of Service, QoS) の保証を求められている。そのため、QoS 保証を実現するための様々な機構が研究・開発されているが、その実装においては、事前にネットワーク内の状態を予測、また、QoS 保証を確認するための計測技術が重要となる。その一手法である Active 計測 (Active Measurement) では、計測用パケット (probe packet) を送出し、その転送状態から、パケット損失や遅延、帯域等の測定対象を統計的に推定する。そのため、その精度を高めるには、計測用パケットが測定対象ネットワークに及ぼす影響を考慮する必要がある。そこで、本研究では計測用パケットが被計測系に与える影響を最小限に留め、高精度な推定を実現するためにパケットトレイン転送 (プローブ連続転送) 方式に着目し、各プローブパケットの損失率の増加傾向を利用したパケット損失率推定方式を提案する。測定対象ネットワークを単純な Batch Geom/D/1 待ち行列モデルで表し、連続する個々のプローブパケットの損失率の理論的、統計的な解析を行うことにより、提案方式の有効性を検討する。

キーワード Active 計測、パケットトレイン転送方式、パケット損失率、多項式回帰

Proposal and Evaluation of Packet Loss Rate Inference Scheme by using Packet Train Method for Active Measurement

Yoshiko MATSUMOTO[†], Kenji KAWAHARA^{††}, and Yuji OIE^{††}

^{††} Department of Computer Science and Electronics,
Kyusyu Institute of Technology

Kawazu 680-4, Iizuka, Fukuoka, 820-8502 Japan

Tel: +81-948-29-7696 Fax: +81-948-29-7651

E-mail: †yoshiko@nile.cse.kyutech.ac.jp, ††{kawahara,oie}@cse.kyutech.ac.jp

Abstract In recent years, the Internet has manifold traffic such as audio and video which require different QoS (Quality of Service). In the QoS aware Internet, performance measurement may become important technique to estimate network condition prior to data transmission and to confirm its quality. In the active measurement which is one of the measurement techniques, some observer sends probe packets, gets their performance such as packet loss, delay and/or throughput and infers some performance of the system without sending probe packets from them. Some amount of probe traffic is required to improve the accuracy of inference, however, this may disturb the status of the original system. Thus, in this paper, we will focus on the "packet train method" for sending probe packets, and new inference scheme in terms of packet loss rate by using the incremental behavior of loss rate of successive probe packets to moderate the inference of the disturbance with high precision. By modeling some router as simple Batch Geom/D/1 queueing system, we will theoretically and statistically analyze loss performance and investigate the effectiveness of the proposed scheme.

Key words Active Measurement, Packet Train Method, Packet Loss Rate, Polynomial Regression

1. はじめに

これまでのインターネットではベストエフォート型の転送が主流であり、通信品質について要求されることは少なかった。しかし、マルチメディア通信を実現するための媒体としての役割を担うようになってからは、多種多様なトラフィックのサービス品質 (Quality of Service, QoS) の保証が要求されるようになってきた。これに伴い、QoS 保証を実現するための様々な機構が研究されているが、その実装においては、事前にネットワーク内の状態を予測、また、QoS 保証を確認するための計測技術が重要になる。また、サービス利用者の関心も接続可用性から品質保証へと移行しており、通信事業者との契約にも SLA (Service Level Agreement) が導入されるようになった。この際、サービス提供者は契約品質を確実に提供し、サービス利用者に提示しなくてはならないため、通信品質を計測する技術はますます重要となっている。

片道/往復パケット転送遅延や損失、スループット等の性能指標の標準化活動が IETF (Internet Engineering Task Force) の IPPM (Internet Protocol Performance Metrics) 分科会において進められていると同時に、計測方法の統一を目標とした様々な活動が行われている [1]。これにより、IP 性能の正確な共通理解と公平な IP 網の評価が可能となる。しかし、代表的な指標である片道転送遅延や損失率 [2] については標準的な計測手法の確立はなされていない。その要因の一つに、Active 計測手法においては、計測自体が測定対象ネットワークを乱してしまうことが挙げられ、この影響を最小限に留めた計測手法の実現が必須である。

そこで、本研究ではパケットトレイン転送方式に着目し、各プローブパケットの損失率の増加傾向を利用した低負荷/高精度のパケット損失率推定方式を提案する。測定対象ネットワークを単純な Batch Geom/D/1 待ち行列モデルで表し [3], [4]、連続する個々のプローブパケットの損失率の理論的、統計的な解析を行うことにより、提案方式の有効性を検討する。以下、2 章では背景を、3 章で解析を、4 章で数値結果と考察をそれぞれ述べ、5 章でまとめる。

2. Active 計測

Active 計測は、観測者 (マシン) がプローブと呼ばれる計測用のパケットを送出してネットワークの状態を取得する方法である。また、計測に特別な装置を要さず手軽に利用することができるので、広く用いられている。パケット片道/往復転送遅延や損失率、可用/物理帯域、スループット等、各種性能指標を計測するための数多くのツールが存在し、用途にあわせて計測を行うことが可能である。

2.1 Active 計測における問題点

Active 計測の代表的なツールとして ping がある。これは送受信端末間のデータの到達性や RTT (Round Trip Time)、パケット損失率の計測を行うことができる。ここでは ping を例に、Active 計測における問題点を挙げる。ping は ICMP (Internet Control Message Protocol) のエコー要求を模擬したパケットをある一定間隔で送出し、エコー応答を受け取ることで到達性を確認し、そのときの時間差から RTT を算出する。また、シーケンス番号から判断してパケット損失を検知する。

図 1 および図 2 に ping により計測される定常的なパケット転送遅延および損失率のシミュレーション結果を示す。横軸は計

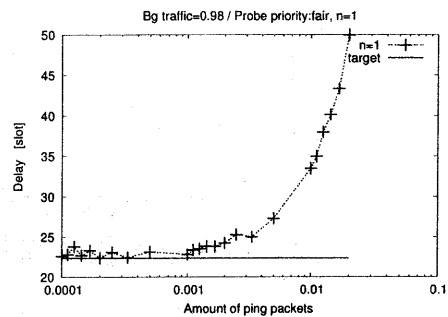


図 1 ping による転送遅延の計測値 ($\bar{\lambda}_p$ による影響)

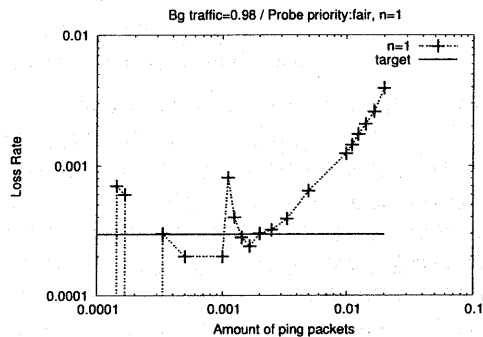


図 2 ping によるパケット損失率の計測値 ($\bar{\lambda}_p$ による影響)

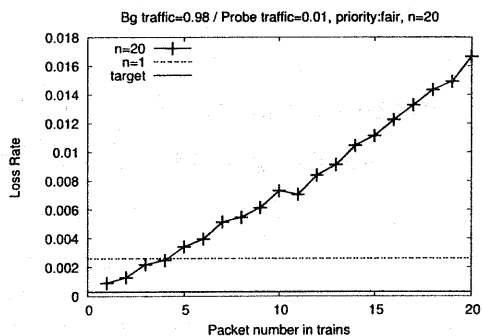


図 3 トレイン内パケット順序に対する損失率

測に用いた平均プローブ量 $\bar{\lambda}_p$ であり、ping パケットの転送間隔によって調整する。図中の“target”は ping パケットを注入しなかった場合の計測量、つまり計測対象量である。これらの図より、注入プローブ量が多い場合はプローブパケット自身が測定対象ネットワークを乱してしまうため、得られる計測値の精度は悪化する。これは Active 計測手法に共通する問題であり、注入プローブ量は少ない方がよいと言える。しかし、図 2 の損失率に注目すると、注入プローブ量が少ない場合は損失の検出を行うことは困難になる。

このように、Active 計測は計測対象を統計的に推定するため、注入プローブ量と計測精度にはトレードオフの関係がある。特に、パケット損失率といった事象の発生頻度の少ない量の計測を行うには多大なサンプル数を必要とし、長期的な計測を行わなければならない、短期的/過渡的な性能推定が困難である。

2.2 バケットトレイン転送方式

ping のように一定間隔で単体のプローブパケットを送出した場合、パケットが損失した/損失しないという2つの情報しか得ることができない。そこで、この情報に加え、プローブパケット間の相関関係を利用可能なパケットトレイン転送方式に着目し、損失率推定手法を検討する。パケットトレイン転送方式とは、いくつかのプローブパケットを連続させ、1つの塊として送出する方法で、ボトルネックリンクの物理帯域を推定するツールである“pathrate”[5]等において利用されている。

図3にトレインを構成するプローブパケット数 $n = 20$ とした場合のトレイン内パケット順序に対するパケット損失率を示す。図中の“target”は計測対象となる損失率であり、“ $n = 1$ ”は一定間隔で単体のプローブパケットを送出した場合(以後、ping方式と呼ぶ)の結果である。図より、トレイン内パケット順序が後になるほど損失率が増加する傾向にあることが予測できる。また、トレインの先頭パケットの損失率はping方式で得られる損失率と比べて“target”に近付くことがわかる。本研究では、さらに増加傾向を詳細に調査することによって、少量のプローブで高精度の損失率推定手法の提案を行う。

3. 解 析

連続するプローブパケットの損失率の傾向を理論的に調査するために、被計測システムとしてルータが一段である場合を仮定し、プローブパケットの転送遅延や損失率を解析的に導出する。

3.1 解析モデル

ルータはバッファサイズが有限(K)な単一サーバとし、 N 本のソースからデータトラヒック(平均到着率 $\bar{\lambda}_{Bg}$)が到着する。データパケットを固定長と仮定すると、この解析モデルは Batch Geom/D/1/K 待ち行列として表現することができ、そのときの遅延や損失率等の被計測量を X_{target} とする。この X_{target} は、連続 n 個のプローブパケットを周期的に注入し、その i 番目のパケットにより得られる計測量 $X_i (1 \leq i \leq n)$ より推定することになる。プローブパケットの平均注入量を $\bar{\lambda}_p$ とし、データパケットと同サイズであると仮定する。したがって、プローブパケット注入時の総トラヒック量 $\bar{\lambda}$ は

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{Bg} + \bar{\lambda}_p, \quad (1)$$

となる。また、システムのサービス率は $\mu = 1$ とし、1パケットの転送処理時間を1スロットとする。

3.2 ソースモデル

3.2.1 データトラヒック

データトラヒックとしてベルヌーイ過程 (Bernoulli Process) に従うモデルを用いる。ベルヌーイ過程では、あるスロットにおいて各ソースから確率 $\bar{\lambda}_d$ でパケットが到着し、確率 $1 - \bar{\lambda}_d$ で到着しない。この様子を図5(a)に示す。

このソースを N 本多重化した場合、 i 個のパケットが到着する確率 b_i および平均到着率 $\bar{\lambda}_{Bg}$ は次式に従う。

$$b_i = \begin{cases} N C_i \bar{\lambda}_d^i (1 - \bar{\lambda}_d)^{N-i}, & 0 \leq i \leq N \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (2)$$

$$\bar{\lambda}_{Bg} = N \bar{\lambda}_d. \quad (3)$$

3.2.2 プローブトラヒック

プローブパケットは図5(b)に示すモデルに従って発生すると

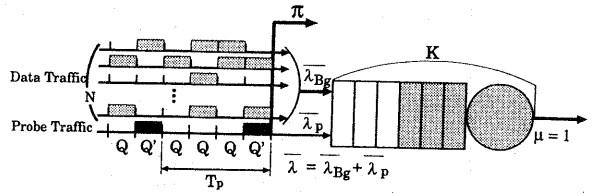


図4 単一サーバ待ち行列モデル

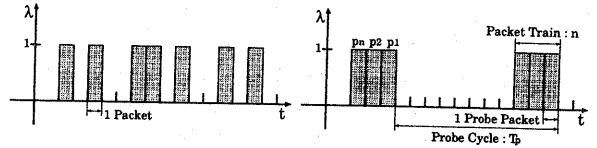


図5 トラヒックモデル

仮定する。このモデルは、ある周期ごとにパケットトレインが到着する。パケットトレインの到着間隔 (T_p)、パケットトレインを構成するプローブ数 (n) はパラメータで可変とする。

プローブトラヒックのバッファへの到着確率および平均到着率 $\bar{\lambda}_p$ は次式に従う。

$$P_{probe}(t) = \begin{cases} 1, & t = iT_p + j \begin{cases} i = 1, 2, \dots \\ j = 0, 1, \dots, n-1 \end{cases} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{n}{T_p}. \quad (5)$$

3.3 状態遷移行列の定義、および定常状態確率の導出

ルータへのパケット到着は図4のように先に示したトラヒックモデルに従うものとする。1スロット中のルータの処理順序を

1. バッファに格納されているパケットを処理する
 2. 到着するパケットをバッファに格納/廃棄する
- と仮定すると、バッファサイズは K であるので、ルータはバッファ内に $0 \sim K$ 個のパケットを保持しているという $(K+1)$ の状態を持つ。ここで、状態 i から状態 j への遷移確率を q_{ij} とし、図4に示すモデルの状態遷移行列を定義する。

バッファには到着率 $\bar{\lambda}_{Bg}$ のデータパケットに加えて式(4)に従い到着率 $\bar{\lambda}_p$ のプローブパケットが到着する。バッファ内のパケット数の状態遷移行列をプローブが到着しないスロットの場合を Q 、到着するスロットの場合を Q' (共に $(K+1) \times (K+1)$) とすると、それぞれ以下のように定義する。

$$Q = \begin{bmatrix} b_0 & b_1 & b_2 & \dots & b_{K-1} & 1 - \sum_{i=0}^{K-1} b_i \\ b_0 & b_1 & b_2 & \dots & b_{K-1} & 1 - \sum_{i=0}^{K-1} b_i \\ 0 & b_0 & b_1 & \dots & b_{K-2} & 1 - \sum_{i=0}^{K-2} b_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & b_1 & 1 - \sum_{i=0}^1 b_i \\ 0 & 0 & 0 & \dots & b_0 & 1 - b_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$Q' = \begin{bmatrix} 0 & b_0 & b_1 & \cdots & b_{K-2} & 1 - \sum_{i=0}^{K-2} b_i \\ 0 & b_0 & b_1 & \cdots & b_{K-2} & 1 - \sum_{i=0}^{K-2} b_i \\ 0 & 0 & b_0 & \cdots & b_{K-3} & 1 - \sum_{i=0}^{K-3} b_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & b_0 & 1 - b_0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

n 個のプロープで構成されるパケットトレイン間 (周期: T_p) の状態遷移は、 n スロット連続してプロープが到着し、残りの $T_p - n$ スロットはデータパケットのみが到着する。したがって、パケットトレインの先頭パケットに着目した状態遷移行列は次式で表される。

$$P = Q'^n Q^{T_p - n}, \quad (8)$$

ここで、定常状態確率ベクトルを $\pi = [\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_K]$ とすると、定常状態確率ベクトルと状態遷移行列は以下を満たす。

$$\pi = \pi P, \quad \pi e = 1, \quad (9)$$

ここで、 e は要素数が $(K+1)$ で、全要素の値が 1 の列ベクトルである。よって、式 (9) を解くことにより、システムの定常状態確率を導出できる。

3.4 性能指標の導出

前節で得られた定常状態確率より、パケット平均転送遅延および損失率を導出する。データパケットとプロープパケットの処理は同じ優先度とし、トレインを構成する先頭のパケットから順に p_1, p_2, \dots, p_n と呼ぶことにする。

3.4.1 平均転送遅延

プロープパケット p_i が被る遅延はバッファに到着した際にみるバッファ内のパケットの個数、すなわち先に到着するパケットの状態により決まる。その際、1 スロット中のパケットの到着順序はランダムであるので、データパケットの到着個数に加えてプロープパケットの到着順序を考慮する必要がある。

i 番目のプロープパケット到着時の定常状態確率を $\pi^{(i-1)}$ とすると、 p_i が被る転送遅延 (D_i) は次式で表される。

$$D_i = \sum_{k=1}^{K-1} (k+1) \left(\sum_{j=k}^N \frac{b_j}{j+1} \pi_0^{(i-1)} + \sum_{s=0}^k \sum_{j=s}^N \frac{b_j}{j+1} \pi_{k+1-s}^{(i-1)} \right), \quad (10)$$

$$\pi^{(i)} = \pi^{(i-1)} Q', \quad \pi^{(0)} = \pi \quad (i=1, \dots, n). \quad (11)$$

3.4.2 パケット損失率

プロープパケット p_i が損失するのは、バッファの空き個数より多いデータパケットが到着する場合であるため、その確率 (P_{loss_i}) は次式で表される。

$$P_{loss_i} = \sum_{j=1}^{N-K+1} \frac{j}{K+j} b_{K-1+j} \pi_0^{(i-1)} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{N-K+k} \frac{j}{K-k+j+1} b_{K-k+j} \pi_k^{(i-1)}. \quad (12)$$

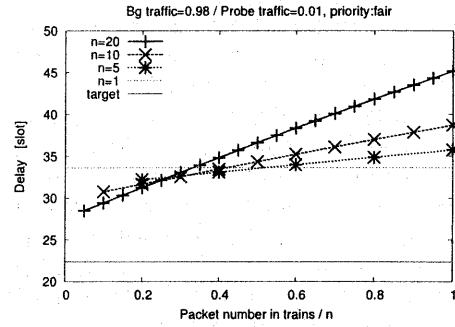


図6 トレイン内パケット順序に対する転送遅延 (n による影響)

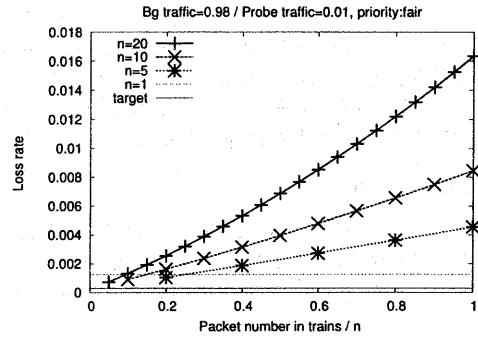


図7 トレイン内パケット順序に対する損失率 (n による影響)

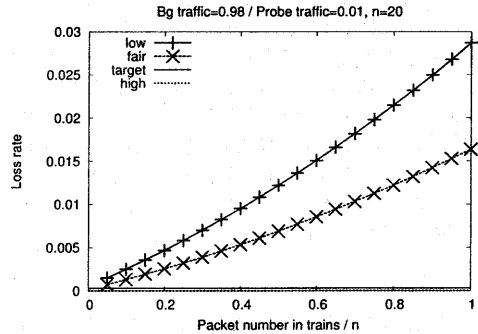


図8 トレイン内パケット順序に対する損失率 (優先度による影響)

4. 数値結果

シミュレーション結果と比較することにより、解析結果の妥当性を確認しているため、本章では解析で得られた数値結果のみを用いて評価を行う。

4.1 パケットトレインの転送遅延および損失率

パケットトレインを構成するプロープ数およびトレイン内パケット順序に対するパケット転送遅延および損失率の影響について考察する。各パラメータは、データソース数 $N = 20$ 、バッファサイズ $K = 100$ 、データトラヒック量 $\lambda_{Bg} = 0.98$ とする。

図6および図7にトレイン構成パケット数およびトレイン内パケット順序に対するパケット転送遅延および損失率を示す。両図とも横軸は (トレイン内パケット順序: i) / (トレイン構成パケット数: n) である。パケット転送遅延および損失率は共にト

レイン内パケット順序が後になるにつれて増加する。その増加傾向は n が大きいほど明確となり、転送遅延はトレイン内パケット順序が後半になるほどその増加率は低くなる(上に凸の曲線)。反対に、損失率は後半になるほど増加率は高くなるという傾向にある(下に凸)。

図7において、プローブを注入しない場合のパケット損失率“target”は 10^{-4} 程度であるため、ping方式 ($n=1$)、すなわち一定間隔でプローブパケットを注入する場合、注入プローブ量は推定精度を考慮すると $10^6 \sim 10^7$ 個が必要となる上、注入量過多により誤差が生じる。しかし、図6および図7の傾向を利用することによって、少量で高精度の損失推定が可能であると考えられる。また、図8に示すように、この傾向はプローブパケットの転送優先度が低い場合に最も明確となる。転送優先度をデータパケットのそれよりも低くすることで、データパケットへの影響を抑えることもできるため、以降、プローブの優先度が低い場合について検討する。

4.2 重回帰分析による定式化

図7に示すようなトレイン内パケット順序によるパケット損失率の増加傾向を重回帰分析 (Multiple Regression Analysis) によって定式化を行う。重回帰分析とは、 p 個の独立変数 X_1, X_2, \dots, X_p を用いて、従属変数 Y を予測するもので、以下のように表される。

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p, \quad (13)$$

特に、独立変数が1個 (X とする) であり、 X の p 次多項式により従属変数 Y を予測するものを多項式回帰 (Polynomial Regression) といい、次式で表される。

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + \dots + b_p X^p, \quad (14)$$

これは最小二乗法 (Least Squares Method) により求められ、 b_0, b_1, \dots, b_p を偏回帰係数という。ここでは、トレイン内パケット順序 i を独立変数とし、従属変数 $P_{loss}(i)$ を

$$\hat{P}_{loss}(i) = ai^2 + bi + c, \quad (15)$$

の二次多項式により回帰分析を行う。この際、偏回帰係数の推定には数式処理システム MATHEMATICA(R)^(注1)を用いた。

図9に $\bar{\lambda}_{Bg} = 0.98$ 、 $\bar{\lambda}_p = 0.001$ とした場合のトレイン内パケット順序に対する損失率と回帰分析の結果を示す。図より、回帰式は損失率の増加傾向にほぼ一致している。さらに、式(15)で得られた回帰式において $i=0$ の値、すなわち、偏回帰係数 c が“target”にほぼ一致していることがわかる。

図10に $\bar{\lambda}_{Bg} = 0.98$ における $\bar{\lambda}_p$ による偏回帰係数(ここでは、 i/n を独立変数とした)と ping方式 ($n=1$) における損失率の計測値を示す。図より、ping方式による計測では注入プローブ量を $\bar{\lambda}_p = 0.001$ 以下に抑えても、“target”に近づくことはない。ここで偏回帰係数 c に着目すると、この値は ping方式で得られた損失率よりも常に“target”に近い値を取り、 $\bar{\lambda}_p = 0.003$ 以下ならば“target”にほぼ一致する。よって、多項回帰式の偏回帰係数 c によって、

1. 定常時のパケット損失率を少量のプローブ(例: $\bar{\lambda}_p = 0.0001$) により高精度な推定が可能
2. 短期的に多くのプローブ量(ただし、 $\bar{\lambda}_p \leq 0.003$) を注入することで、過渡的なパケット損失率の推定が可能となる。

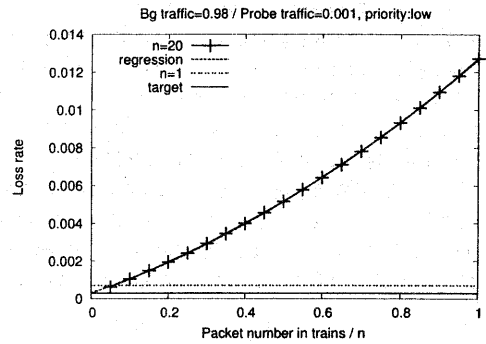


図9 回帰式との比較 ($\bar{\lambda}_{Bg} = 0.98$)

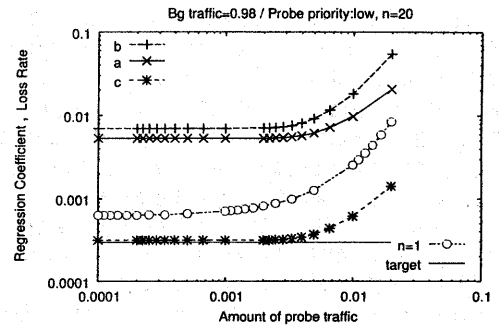


図10 偏回帰係数の変化 ($\bar{\lambda}_p$ による影響)

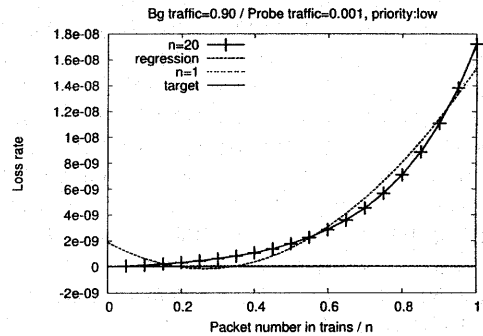


図11 回帰式との比較 ($\bar{\lambda}_{Bg} = 0.90$)

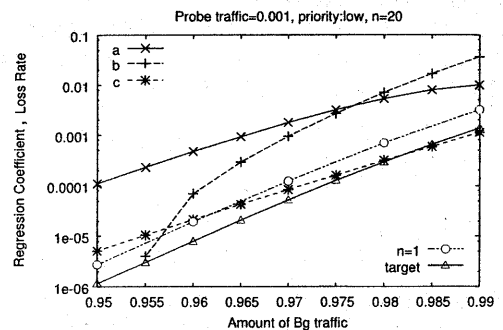


図12 二次多項式の偏回帰係数

(注1) : MATHEMATICA(R) ver.4.1.2.0, (C) Copyright Wolfram Research, Inc.

4.3 二次多項式回帰による推定限界

前節までに二次多項式回帰により求まる偏回帰係数 c により高精度な損失率の推定が可能であることを示した。本節では提案した推定方式の適応範囲について考察する。

図 11 に $\bar{\lambda}_{Bg} = 0.90$ 、 $\bar{\lambda}_p = 0.001$ とした場合のトレイン内パケット順序に対する損失率と回帰分析の結果を示す。図より、 $P_{loss}(i)$ の増加傾向は急峻であり、 $\hat{P}_{loss}(0)$ が最小にならないなど回帰式は一致しているとは言えない。これらのことから、式 (15) による推定においては、回帰結果が $i > 0$ で極小値を持たない場合に適応可能であると考えられる。その条件は

$$(\hat{P}_{loss}(i))' = 2ai + b \geq 0, \quad \text{if } i \leq 0, \quad (16)$$

すなわち、 $a \geq 0, b \geq 0$ であれば、損失率の増加傾向は式 (15) で推定可能である。

図 12 に各 $\bar{\lambda}_{Bg}$ における偏回帰係数と ping 方式および “target” 損失率を示す。図より、 $\bar{\lambda}_{Bg} < 0.955$ では式 (16) を満たさず、推定結果の改善が望めない。これに対し、式 (16) を満たす範囲では、二次多項式回帰の偏回帰係数 c により計測対象損失率を高精度に推定できる。また、提案方式の推定誤差は回帰式と増加傾向との一致度合で決まるため、精度を向上させるには三次以上の項を考慮した多項式を適用する必要がある。

以上より、二次多項式回帰による損失率推定は高負荷ネットワーク、つまり計測対象損失率が 10^{-5} オーダ以上の場合に有効であることがわかる。また、高次多項式回帰を用いることでさらなる推定精度の向上および中/低負荷ネットワーク計測への拡張が可能であると考えられる。

4.4 実測値による推定

これまで、トレイン内パケット全ての損失率が既知であった場合、つまり注入トレイン数が無限大の場合の多項式回帰の有効性を確認したが、実測時には有限のトレインにより推定する必要がある。すなわち、比較的損失率の高いトレイン内パケット後部の損失率しか得られない可能性がある。そこで、損失率の計測が可能なトレイン後部からのパケット数を $j (j = 2, \dots, n)$ と仮定し、 j 個のサンプルのみを利用して式 (15) による二次多項式回帰を行った場合の特性を図 13 に示す。この図より、全体的に偏回帰係数 c の値は計測対象損失率 “target” よりも大きい、すなわち、過大評価していることがわかる。また、サンプル数の増加に伴い、精度が向上し、13 個以上で ping 方式よりも精度がよくなることわかる。

4.5 転送遅延による損失率の推定可能性の検討

損失率と比較して、転送遅延の計測はどのようなネットワーク状態においても比較的容易であり、提案方式においては損失率と同様に、転送遅延においても図 6 に示す増加傾向がみられる。ここで、プローブパケットが損失しないと仮定した場合の理想的な転送遅延を $D_{i,ideal}$ とすると、

$$D_{i,ideal} = \sum_{k=0}^{K-1} (k+1) \left(b_k \pi_0^{(i-1)} + \sum_{j=0}^k b_j \pi_{k+1-j}^{(i-1)} \right) + (K+1) \left(\sum_{j=K}^N b_j \pi_0^{(i-1)} + \sum_{s=1}^K \sum_{j=K+1-s}^N b_j \pi_s^{(i-1)} \right), \quad (17)$$

となり、これは式 (10) および式 (12) を含んだ式に変形でき、トレイン内パケット p_i の転送遅延と損失率の間には以下の関係式が成り立つことが解析的に導かれる。

$$D_{i,ideal} = D_i + (K+1)P_{loss_i}, \quad (18)$$

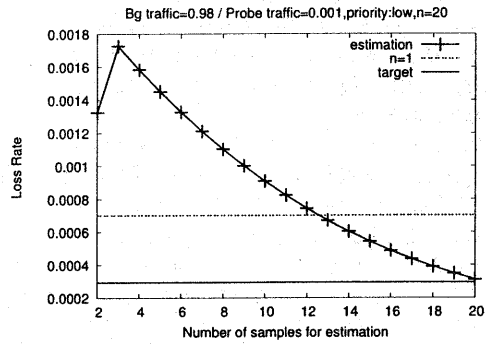


図 13 回帰分析サンプル数の推定精度への影響 ($\bar{\lambda}_{Bg} = 0.98$)

この関係を利用し、転送遅延から損失率を推定する手法を検討すれば、測定対象ネットワークに与える影響を抑えた、より低負荷・高精度の計測/推定が可能になると考えられる。

5. まとめ

本研究ではパケット損失率を計測対象とし、計測用パケットが被計測系に与える影響を最小限に留め、高精度な推定を実現するためにパケットトレイン転送方式に着目し、各パケット間の相関を利用した損失率推定方式を提案し、その評価を行った。その結果、高負荷ネットワークにおいては、トレイン内パケットの損失率の増加傾向を二次多項式により回帰し、その多項式の切片により、高精度な損失率の推定が可能となることを明らかにした。さらに、より高次の項を考慮した多項式回帰を用いることで、さらなる精度の向上と中/低負荷ネットワーク計測への拡張の可能性を示した。

しかし、パケットトレイン転送方式を適用しても、トレイン内の全てのパケットに対する損失率を有効に計測することは困難なため、限定されたサンプルにより推定精度の向上について検討する必要がある。さらに、パケット転送遅延と損失率の間には式 (18) なる関係が成立し、この関係を利用することにより上記問題を解決できると考えられる。今後は Passive 計測との連携を視野に入れ、転送遅延から損失率を推定する新たな推定方式について検討を行う。

謝 辞

本研究の一部は、総務省における「戦略的情報通信研究開発推進制度」、および、通信・放送機構 (TAO) における「JGN プロジェクト」(JGN-R14101) の支援を受けている。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] Vladimir Smotlacha, “Qos Oriented Measurement in IP Networks,” CESNET technical report number 17/2001, Dec. 2001
- [2] G. Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas, “A One-way Packet Loss Metric for IPPM,” Request For Comments 2680, Sep. 1999
- [3] Jean-Chrysostome Bolot, “Characterizing End-to-End Packet Delay and Loss in the Internet,” Proc. ACM Sigcomm '93, pp. 289-298, Sep. 1993.
- [4] Jean-Chrysostome Bolot, “CHARACTERIZING THE END-TO-END BEHAVIOR OF THE INTERNET: MEASUREMENTS, ANALYSIS, AND APPLICATIONS,” Proc. ITC '95, 1995.
- [5] C. Dovrolis, P. Ramanathan, D. Moore, “What do packet dispersion techniques measure?,” Proc. IEEE INFOCOM '01, Anchorage, Alaska, USA, Apr. 2001.