

## VoIP フローの特徴を利用したスケーラブルな VoIP フロー性能監視方式の提案

北辻 佳憲<sup>†</sup> 勝野 聡<sup>††</sup> 山崎 克之<sup>†††</sup> 鶴 正人<sup>†††</sup> 尾家 祐二<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 情報通信研究機構 〒 802-0001 福岡県北九州市小倉北区浅野 3-8-1

<sup>††</sup> 株式会社 KDDI 研究所 〒 356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15

<sup>†††</sup> 長岡技術科学大学 〒 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

<sup>††††</sup> 九州工業大学 〒 820-8502 福岡県飯塚市津川 680-4

E-mail: kitaji@kyushu.jgn2.jp, katsuno@kddilabs.jp, yamazaki@nagaokaut.ac.jp,  
tsuru@ndrc.kyutech.ac.jp, oie@cse.kyutech.ac.jp

あらまし VoIP サービスを提供するインターネット接続事業では、VoIP トラフィックのスケーラブルな性能監視が不可欠である。最近では、様々なアプリケーションに起因する多様な特性のトラフィックがインターネットを横断するため、従来のルータ/スイッチによるインターフェースのトラフィック量の計測では、VoIP フローの品質を把握することは困難である。そこで、本稿では VoIP フローの特徴を活かした軽負化なフローの抽出方法、および VoIP トラフィック全体の遅延変動とパケット損失率の推定方式を提案する。実トラフィックを用いた提案方式の評価を行い、遅延変動の推定には全体の 2% 程度のフローの監視で十分なこと、パケット損失率の推定には 20% 以上のフローが必要なことを示す。  
キーワード VoIP フロー、性能監視、遅延変動、パケット損失率、パケット間隔

## Scalable Performance Monitoring of VoIP Flows Exploiting Feature of Actual VoIP Flows

Yoshinori KITATSUJI<sup>†</sup>, Satoshi KATSUNO<sup>††</sup>, Katsuyuki YAMAZAKI<sup>†††</sup>, Masato  
TSURU<sup>††††</sup>, and Yuji OIE<sup>††††</sup>

<sup>†</sup> NICT 3-8-1, Asano, Kokurakita-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 802-0001 Japan

<sup>††</sup> KDDI R&D Laboratories, Inc., 2-1-15, Ohara, Fujimino-shi, Saitama, 356-8502 Japan

<sup>†††</sup> Nagaoka University of Technology, 1603-1, Kamitoyooka-cho, Nagaoka-shi, Niigata, 940-2188 Japan

<sup>††††</sup> Kyushu Institute of Technology, 680-4, Kawatsu, Iizuka-shi, Fukuoka, 820-8502 Japan

E-mail: kitaji@kyushu.jgn2.jp, katsuno@kddilabs.jp, yamazaki@nagaokaut.ac.jp,  
tsuru@ndrc.kyutech.ac.jp, oie@cse.kyutech.ac.jp

**Abstract** The performance monitoring of voice-over-IP (VoIP) traffic is vital for Internet Service Providers (ISPs) which provide a VoIP service with the Internet access services. Identifying degradation in VoIP flows based on the link utilization monitoring becomes increasingly difficult with increasing diversity of the traffic characteristics (burstiness, short duration, constant bit rate, etc.). In this paper, we propose a method for scalable performance monitoring of VoIP flows distinguished by five tuples. This method extracts the VoIP flows in a lightweight manner, and estimates the packet loss rate and the delay variation by exploiting the features of actual VoIP flows, that is, fixed packet length and fixed inter-packet gaps which are relatively common features among most VoIP flows. Through the evaluation with simulation with trace data of actual traffic, we show that monitoring only 2 % or less of the total VoIP flows can accurately estimate the delay variation of the total VoIP flows, while 20 % or more of the total VoIP flows are required in order to estimate the packet loss rate.

**Key words** Performance monitoring, VoIP flow, delay variation, packet loss rate, and inter-packet gap

## 1. ま え が き

インターネット加入者回線の広帯域化が進み、Internet Service Provider (ISP) は Voice over IP (VoIP) やビデオ会議などのリアルタイム系ストリームを安定して伝送することが求められるようになった。国内の ISP の場合、電話網と相互接続する VoIP サービスを付加した接続サービスを提供することが多くなり、概ねユーザは電話網相当の品質と安定性を期待するため、ISP は VoIP の品質を意識したネットワークの設計および運用が求められる。

従来、ISP が伝送する主なアプリケーショントラヒックは、WEB、Peer-to-Peer (P2P)、その他となっていたが、最近では、VoIP サービスの普及によって VoIP トラヒックを分類できるほど割合が増加してきている (3. 章で示す)。WEB のトラヒックは短時間で終了する特徴が、P2P トラヒックはバースト性の (短時間のレート変動が比較的大きい) 特徴 [1] が、VoIP トラヒックは低速ではあるが一定のレートが長時間継続する特徴があることがわかっている。ISP は、トラヒックの安定な伝送を行うために、これまでは回線の利用率に基づいて、トラヒック制御や回線増速時期の見積りを行ってきた。しかし、上述のように特性の異なるトラヒックが同じ回線を通れるようになると、従来の回線利用率 (平均値) の情報だけでは VoIP トラヒックの品質劣化を適切に検出することは難しい。例えば、回線の大半が VoIP トラヒックと P2P トラヒックで構成されているときには、回線の利用率が高くなれば、P2P トラヒックが多いほど VoIP トラヒックの品質劣化が激しくなる。ISP を出入りするトラヒックから VoIP トラヒックを区別でき、その品質を把握することが出来れば、VoIP トラヒックの品質を意識した運用が行い易くなる。

大規模な ISP では、その扱うトラヒックの多さから、可能な限り簡易な方法で VoIP トラヒックの検出とその品質劣化の把握が求められる。簡易な VoIP トラヒックの抽出方法の一つは、電話端末がプロトコルヘッダの適当なフィールドにマーキングを行い、ネットワーク内の監視装置がパケットにマークの有無を検査することで、パケットが VoIP トラヒックに属するか判断できる。しかし、このような方法は特別な改良を行った電話端末が必要とし、改良に係る費用を回収できる資力のある ISP がとれる手段である。本論文では VoIP トラヒックの特徴を利用して、パケットに特別な細工をすることなく軽負荷な方法で VoIP トラヒックを抽出し、さらに品質劣化の度合を検出する監視方法を提案する。

一般に、VoIP トラヒックの品質劣化の検出には、遅延変動とパケット損失が用いられる。遅延変動には、トラヒックからコネクション (エンドホストペア) 単位のトラヒックフロー (以下、単にフローとする) を抽出し、そのパケット間隔 (IPG) の分散などが用いられる。このとき、フローは、IP アドレスとポート番号のペアで区別される IP パケット列と定義される。パケット損失は、VoIP フローからパケットに振られているシーケンス番号の欠番を計数する方法が考えられる。集積回路の高速化および大規模化によって、ISP が扱う 10G ビットクラス

の高速トラヒックからフローを識別して IPG を取得することは可能になりつつある [2]。しかし、シーケンス番号を検出するためには、パケットのアプリケーションデータ部分からアプリケーションを識別してシーケンス番号を取り出さなければならないため、処理はより複雑になり高速回線への適用は困難である。そこで、本論文では、VoIP トラヒックの多くが一定のパケット長とほぼ一定のパケットレートを持つ特徴 (3. 章に示す) を用いて VoIP フローを抽出し、遅延変動とパケット損失を推定する方法を提案する。

以下、本論文の構成は次のとおりである。2. 章では、VoIP システムの動作から VoIP トラヒックの計測の課題を明かにする。3. 章では、VoIP トラヒックの特徴を実トラヒックから分析する。4. 章では、3. 章で明かにした VoIP フローの特徴を用いて、VoIP フローの抽出方法および品質劣化とパケット損失の推定方法を提案する。5. 章では実トラヒックを用いて提案方式の評価を行い、6. 章で結びとする。

## 2. VoIP トラヒック計測の課題

VoIP トラヒックの品質劣化の監視では、回線を通過するパケットから VoIP のパケットを区別することと、区別された VoIP パケットをもとにパケット損失や IPG を推定することの 2 つが、大きな課題と考えられる。

VOIP システムは、呼制御サーバと電話端末で構成される。電話端末の間でコネクションを確立するときに用いられるポート番号は、動的に決定され、呼制御サーバを介して電話端末の間で共有される。このとき、品質監視を行うネットワークが、電話端末と呼制御サーバのメッセージをトレースしてポート番号を取得し、それをを用いてパケットから VoIP フローを区別することは困難である。

次に、VoIP フローの監視の方法を考えると、計測を一地点で行う場合と複数地点で行う場合が考えられる。一地点の計測では、例えば、ユーザのアクセス回線を収容するエッジルータ付近でコア網 (バックボーン) 向け上り回線を計測し、ユーザの電話端末から計測地点までの品質劣化を把握できる。複数地点の計測では、複数のエッジルータ付近 (および必要であればコア網内部) で双方向の回線を計測し、2 地点の計測結果の差分から、VoIP フローがコア網を通過するときに受ける品質劣化の度合を知ることができる。計測地点の回線速度は、ユーザからの回線を接続側するエッジルータであれば 1 Gbit/s 程度が考えられるが、インターネット相互接続点 (IX) への接続であれば 10 Gbit/s を想定すべきで、計測システムの高速回線への適用も不可欠である。

計測を一地点で行う場合にはパケット損失の見極めが課題である。これは、監視システムがパケットからアプリケーションデータを走査して、パケットに振られているシーケンス番号をトレースできれば解決できる。しかし、監視システムがアプリケーション毎にパケットのデータパターンを保持しなければならないうえ、シーケンス番号の抽出処理が複雑になるため、システムの開発コストが課題となり易い。計測を二地点 (またはそれ以上) で行う場合には、二地点の間で VoIP フローを構成す

るパケットの照会が課題となる。パケットの照会には、パケットの送受信アドレスペアとパケット識別子を用いると考えられるが、多量な VoIP フローを同時にオンライン処理することは困難である。

本論文では、まず、3. 章に示す一般的に考えられている VoIP トラヒックの特徴を用いて、パケットから VoIP フローを区別する軽負荷な方法を検討する。次に、区別されたフローから遅延変動とパケット損失率を推定する方法を提案し、一地点計測でもパケット損失の推定が可能なることを示す。二地点計測の場合では、提案方式によってパケット一つ一つではなく互いの推定値を照会することで、オンライン型の計測区間の遅延変動を推定することが可能となるが、具体的な推定方式は今後の課題とする。

### 3. VoIP フローの特徴

本章では、まず、直観的な VoIP フローの特徴を挙げ、それが実トラヒックで確認できるかを検証する。

VoIP フローには次の特徴があると考えられる。

- 長時間性

総務省が発表した平成 18 年度の情報通信白書 [3] では、一通話の平均通話時間が事務用で 39 秒、家庭用で 92 秒と報告されており、フローの継続時間は数十秒のオーダーになると考えられる<sup>(注1)</sup>。

- 一定パケット長

加入者回線のブロードバンド化が進んでいるため帯域節約の動機が小さいことや、電話網との相互接続を同時に可能とするためにコーデックが G.711 64Kbit/s に共通化されやすいことを考えると、パケット長が一定な VoIP パケットの割合は多いと考えられる。

- 一定パケット間隔

受信時のデコード処理の時刻同期を簡単にするために、無音状態であってもパケットを送出し続ける VoIP 電話は多いと考えられ、送出パケットの間隔が一定な VoIP トラヒックの割合も多いと考えられる。

これらを確認するため、パケット長、パケット間隔、継続時間の順に実トラヒックを分析する。

実トラヒックには、Abilene [4] のインディアナポリス POP を流れるトラヒック (回線帯域: 2.4 Gbit/s) 回線のトレースデータと、国内の某 ISP のアクセスポイントからバックボーンネットワークへ入力するトラヒック (回線帯域: 1 Gbit/s) のトレースデータを用いた。トレースデータは、Abilene が 100 秒間の、ISP が 60-70 秒間のフルトレースとなっている (表 1)。UDP のフロー毎の平均パケット長の分布を、図 1 に示す。図は、凡例に示す時間  $D$  以上継続したフローについての分布を示している。

ISP の分布では、10 秒以上の閾値で分布が似ており、全体の

(注1): 情報通信白書では VoIP フローの統計については公表されなかったが、VoIP の通話時間が ISDN または携帯電話などよりも大幅に少なくなるとは考えにくい。

表 1 Characteristics of traces.

Source	Date	Length of data set	Link bandwidth	Num of data set	Total num of packet
Abilene	Aug., 2002	100 s	1 Gbit/s	12	1.26 bill.
ISP	Jul., 2003	60-70 s	2.4 Gbit/s	55	175 mill.

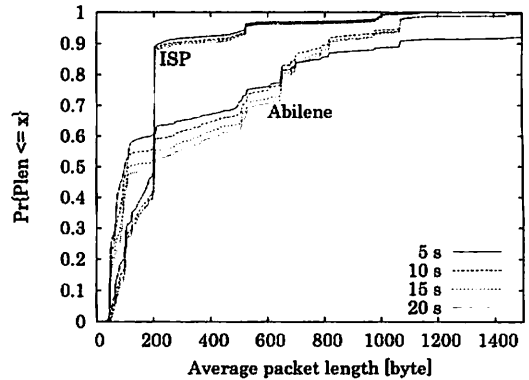


図 1 Cumulative distribution of average packet length for UDP flows lasting more than  $D$  second.

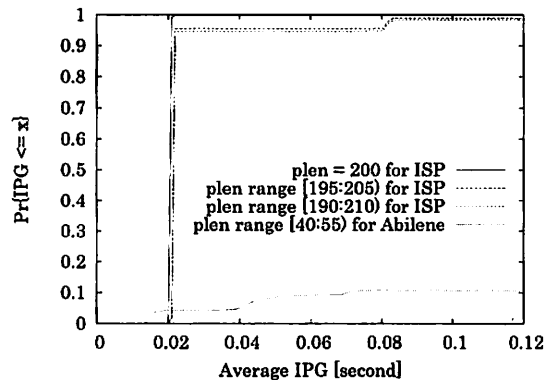


図 2 Cumulative distribution of average IPG for UDP flows lasting more than 10 seconds with a certain range of packet length.

45%以上が 200 バイトの平均パケット長を持つことがわかる。音声声を G.711 (64 Kbit/s) [5] でエンコードする場合、0.02 秒間隔でパケット化すると一パケットに 160 バイト (= 64000 × 0.02 / 8) が格納される。IP ヘッダ (20 バイト)、UDP ヘッダ (8 バイト)、RTP ヘッダ (12 バイト) を考慮すると、パケットサイズは 200 バイトとなるため、平均パケット長が 200 バイトのフローは G.711 コーデックを用いた VoIP フローの可能性ある。一方、Abilene の分布は、ISP のそれほど似ていない。パケット長が約 50 バイトのフローが全体の 20% を占めており、一パケットに 10 バイトのデータを格納する G.729 (8 Kbit/s) [6] コーデック (0.01 秒でパケット化) の可能性がある (残り 40 バイトは、IP ヘッダおよび、UDP ヘッダ、RTP ヘッダ)。

次に、Abilene および ISP の 10 秒以上継続するフローについて、パケット長の平均が約 50 バイトまたは約 200 バイトのフローの、平均 IPG の分布を図 2 に示す。Abilene の平均パケット長が約 50 バイトのフローは、平均 IPG が想定していた 0.01 秒を大きくはずれ（半数以上は約 1 秒だった）、G.729 コーデックのアプリケーションのトラヒックではないことがわかる。よって、以降では ISP のトレースデータについて議論する。

ISP の平均パケット長が約 200 バイトのフローは、約 0.02 秒の平均 IPG を持つフローが 90% 以上を占めている。平均 IPG が 0.02 秒を前後するフローは、遅延変動の影響を受けていると考えられる。

ISP のトレースデータからパケット長が 200 byte で平均 IPG の範囲が [0.01, 0.03] のフローの継続時間の分布を解析すると（図は割愛する）、継続時間の平均は 46.9 秒で、全体の 75% のフローが 30 秒以上、30% 以上のフローが 60 秒以上継続しており、長時間継続するフローの割合が多いことがわかった。本論文で提案する推定方法には、統計値の計算（4. 章）に、ある程度継続するフローが必要である。このような方法で抽出されるフローが概ね数十秒のオーダーで継続することは、本提案にとって適している。

以上から、パケット長が 200 バイトで平均パケット間隔が 0.02 秒の UDP フローを VoIP フローと見なして、その品質監視の方法を提案する。なお、多くの ISP が独自の電話端末を提供しており、必ずしも、パケット長と IPG がこの範囲に入るとは限らないが、VoIP であれば、一定パケット長および一定レートの特徴は一般的と考えられる。ISP 独自の電話端末が固定長パケットを一定レートで送信するパケット化方式を採用するのであれば、本論文の提案方式は容易に適用可能である。

#### 4. VoIP フローの品質劣化検出方式

VoIP フローの品質劣化をパケットの遅延変動とパケット損失率から検出することを考える。遅延変動として VoIP フロー毎の IPG の標準偏差を用いることとする。3. 章で示した VoIP フローの特徴を用い、想定される固定パケット間隔（20 ミリ秒）があるものとして、その想定値よりも十分大きな IPG を観測した場合には、その観測点より手前で一つ以上のパケットが連続して棄却されたとみなす。そして、遅延変動の計算ではそのパケット損失によって大きくなった IPG を補正する。

4.1 節では、遅延変動とパケット損失率の計算方法を示し、4.2 節では、3. 章で示した VoIP フローの特徴を用いたフロー抽出アルゴリズムを示す。

##### 4.1 遅延変動とパケット損失率の導出

VoIP フロー  $i$  について、 $j$  番目パケットの到着時刻を  $t_j^i$  とし、 $j$  番目と  $j+1$  番目のパケットの IPG を  $x_j^i$  とする。観測点の手前でパケット損失がおきて、見かけ上大きくなった IPG を補正した IPG（以下では“pseudo IPG”と呼ぶ）を  $y_j^i (> 0)$  と定義する。IPG の補正は、理想的な IPG を  $\bar{X}$  を用いて、その正数倍 ( $k_j^i$ ) の IPG を差し引ひくこととする。

$$y_j^i = |x_j^i - k_j^i \bar{X}| \quad (1)$$

ただし、

$$k_j^i = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq x_j^i < 3\bar{X}/2 \\ n & (n \geq 2) \text{ if } (n-1)/2 \bar{X} \leq x_j^i < (n+1/2)\bar{X} \end{cases}$$

とする。本提案では、次のように pseudo IPG の標準偏差  $S$  を遅延変動と定義する。

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_j^i{}^2 \quad (2)$$

ただし、 $N$  および  $n_i$  は、それぞれ、観測されるフロー数、および、観測点を通過するフロー  $i$  のパケット数である。

さらに、 $k_j^i$  を用いて指示関数  $\chi_{k_j^i}$  を次のように定義すると、

$$\chi_{k_j^i} = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq k_j^i \leq 1 \\ 1 & \text{if } k_j^i \geq 2 \end{cases} \quad (3)$$

IPG が大きく ( $x_j^i \geq 3\bar{X}/2$ ) パケット損失とみなしたときの、みなしパケット損失率を次のように定義する。

$$r = \frac{\sum_{i,j} \chi_{k_j^i}}{N \sum_i n_i} \quad (4)$$

式 (4) は、観測点より手前の回線のバッファが小さい ( $\bar{X}/2$  秒未満) 場合には連続するパケット損失を一回の損失とみなしたパケット損失率である。もし観測点より手前の回線のバッファが十分大きい場合には、大きな ( $3\bar{X}/2$  を越える) IPG も含まれた値となる。

小さい受信バッファしか持たない受信電話端末にとっては、大きな IPG はパケット損失と同等の扱いを受ける上、受信電話端末が大きな受信バッファを持つことは推奨されない [7]。そこで、式 (4) を、受信電話端末での品質を考慮した連続パケット損失率と定義し、VoIP フローの品質劣化の指標とする。通常、パケット損失率は二つの異なる観測点で計測を行う必要があるが、式 (4) の定義では、一点計測で連続パケット損失率を推定できる効果が得られる。

##### 4.2 VoIP フローを区別するアルゴリズム

3. 章のトラヒック特性の分析から、パケット長が 200 バイトの UDP フローの中で、10 秒以上継続し IPG が約 0.02 秒になるフローの割合は比較的多く見つかることがわかった。そこで、VoIP トラヒックの監視には、

- 継続時間が 10 秒以上で、
- パケット長が 200 バイト、
- IPG が [0.01, 0.03] の範囲に入る

フローを用いることにする。10 秒間の経過時間は、パケット長および IPG の平均値を検査するために利用することができる。

図 3 に、VoIP フローを監視するための登録手順の仮想コードを示す。アルゴリズムは、所望のフロー数  $N$  に達するまで greedy にフローを探索する。処理中は、監視するフローを集合  $M$  に登録し、継続時間が閾値  $T$  に満たないフローを集合  $P$  に登録する。処理は、パケットが入力するとまず UDP パケットでパケット長を満しているかを検査し、所望のパケットであれ

```

Function MonitoringFlow;
var N: Number of flows to be monitored;
var  $\bar{X}$ : Expected average IPG;
var Lmin: Minimum packet length;
var Lmax: Maximum packet length;
var T: Threshold to register flows;

begin
var M :=  $\emptyset$ : set of monitored flow;
var P :=  $\emptyset$ : set of active flow w/t short duration;
var F :=  $\emptyset$ : set of flow information base (FIB);
repeat
var p := ArrivingPacket(Lmin, Lmax);
var f := FlowID(p);
UpdateFIB(p, f, F);
if f ∈ M then
UpdateStatistics(f, M, F);
else
if f ∈ P then
if FlowDuration(f, F) ≥ T then
RemoveFlow(f, P);
if  $\bar{X}/2 \leq IPG(f) < 3\bar{X}/2$  then
InsertFlow(f, M);
UpdateStatistics(f, M, F);
endif;
else;
AccountPacketAndByte(p, f, F);
endif;
endif;
else
if |M| + |P| < N then
InsertFlow(f, P);
endif;
endif;
endif;
RemoveInactiveFlow(M, P, F);
until receiving a signal to terminate;
end;

```

図 3 Flow monitoring algorithm. Parameters,  $N$ ,  $\bar{X}$ , [ $L_{min}$ ,  $L_{max}$ ], and  $T$ , are set to, for example, 100, 0.02 seconds, [200, 201] bytes, and 10 seconds.

ばフローを区別する。そのフローが既に監視フロー (集合  $M$ ) に登録されていれば 4.1 節に示した推定のための計数を行う。もしフローが集合  $P$  に属しているならば、継続時間、平均パケット長を確かめて、条件を満足していればそのフローを監視フローの集合  $M$  へ移す。集合  $M$  または  $P$  に登録されるフローはいつかは終了するため、適当な頻度でフローが終了していないかを検査し、終了したフローを検出すると集合  $M$  または  $P$  から削除する。

## 5. 性能評価

ISP のトレーサデータを用いて、提案方式の性能評価を行った。実験は、トレーサデータのタイムスタンプをもとに、仮想的な回線からトラフィックが出力される状況をシミュレートした。トレーサデータに、パケット長が 200 バイトで IPG が 0.02 秒の理想的な VoIP フローを 500 または 1000 本挿入し、その内の一部を監視したときの遅延変動およびパケット損失率の推定を行った。トレーサデータは各データセットの平均レートが 200–300 Mbit/s であったため、品質劣化状態を作り出すために、利用率が 95% になるように仮想的に回線帯域を絞って、パケットの遅延変動および損失を引き易くした。

図 4 は、平均レートが 282 Mbit/s のトレーサデータ (70 秒の平均) に 500 本のフローを加え (合計レート: 322 Mbit/s)、利用率が 95% になるよう回線帯域を 339 Mbit/s にしたときの 500 本のフロー全体の遅延変動 (縦軸) と、提案方式で推定した遅

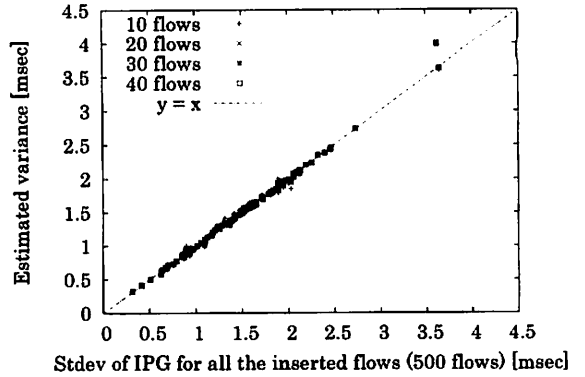


図 4 Q-Q plot of standard deviation of IPG for all the inserted flows and the estimation. The buffer is sufficiently large to prevent the packet loss (100 MB), 500 flows with ideal IPG (0.02 seconds) are inserted as VoIP flows.

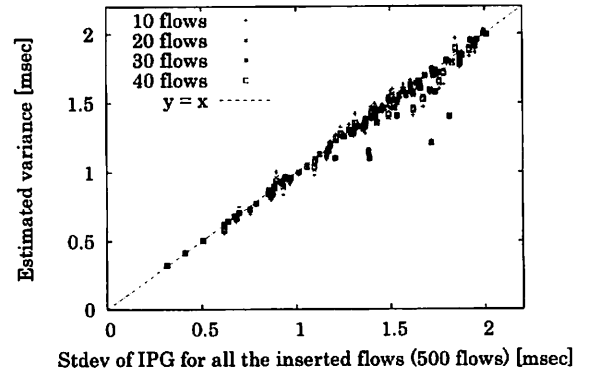


図 5 Q-Q plot of standard deviation of IPG for all the inserted flows and the estimation. The buffer is 423.7 KB, and which limits the queuing delay up to 10 milli-second and packets exceeding buffer size are lost. 500 flows with ideal IPG (0.02 seconds) are inserted as VoIP flows.

延変動 (縦軸) を Q-Q プロットの形式で表している。ここではトラフィックの遅延変動を適切に表しているかを確かめるため、パケット損失が起きないようにバッファを十分大きくとった。500 本のフローの IPG の変動は、フローごとに IPG を求めてから全 IPG (500 本分) の標準偏差 ( $\sigma$ ) を求めた。ここで用いた結果は、トラフィックが急激に変化して一次的に IPG が大きくなり、推定 IPG の範囲 [0.01, 0.03] を超える例を示している。

図から、推定結果が 500 本のフローの IPG の変動にほぼ一致していることがわかる。500 本のフローに対して観測するフロー数が 10 本 (全体の 2%) であっても、推定精度は高いことがわかる。

図 5 は、図 4 と同様の条件で、バッファサイズを最大 0.01 秒のキュー遅延に留まるように制限 (423.7 KB) したときの Q-Q プロットである。バッファサイズを小さくした結果、平均 IPG が小さくなり、IPG の標準偏差の最大値が小さくなっている (最大が

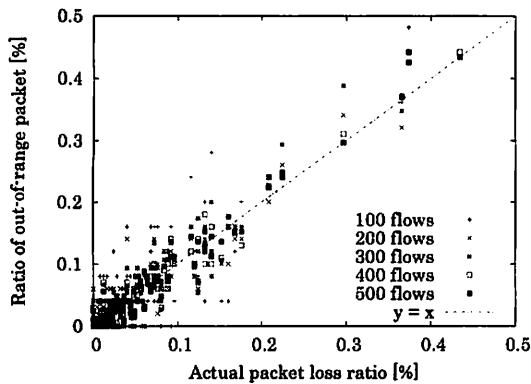


図6 Q-Q plot for packet loss ratio of all the inserted flows and the estimation. The buffer size limited to an amount in which the maximum queuing delay is limited up to 10 milli-second for packets exceeding the buffer size to be lost. 1000 flows with ideal IPG (0.02 seconds) are inserted as VoIP flows.

0.002 秒)。パケット損失がないときに比べ、500 本のフローの IPG の変動よりも推定値の方が小さくなることが多くあり、IPG の変動の推定にパケット損失の影響が抑えられていることがわかる。

図6は、6セットのトレースデータについて、キュー遅延が0.01秒になるようにバッファサイズを小さくしたときのパケット損失率のQ-Qプロットである。この実験では、VoIPフローとして1000本のフロー(合計80Mbit/s)を入力した。キュー遅延の最大が0.01秒を越えないため、想定IPG(20ミリ秒)の範囲を越えるIPGは全てパケット損失とみなすことができる。1000本のフローのパケット損失率を横軸に、100-500本のフローを監視したときの推定値を縦軸に示している。

パケット損失率の推定は、遅延変動に比べて精度が低く、パケット損失率が低いときには検出できないことがわかる。特に監視するフローが少ないほど、検出できないパケット損失率の上限が大きい。また、全てのフローを監視可能であれば数%の誤差でパケット損失率を推定できるが、監視するフローの割合が低くなるほど誤差が大きくなっている。挿入フロー数が500本の場合、2000本の場合、5000本の場合についても評価を行った結果(図は割愛する)、パケット損失を検出する場合には少なくとも全体の20%程度のフロー監視が必要ということがわかった。

パケット損失率の推定は、遅延変動の推定に比べて精度が悪い。数十%のフローの監視が必要ということは、アクティブ計測によってVoIPを模擬したプローブを入力する場合には実トラフィックに影響を与えるほど多量なトラフィックが必要なことを意味する。本結果は、パケット損失率の計測にある程度の精度を求める場合にパッシブ計測が有効であることを示している。

## 6. むすび

VoIPサービスを提供するISPには、スケーラブルなVoIPトラフィックの性能監視が不可欠である。しかし、トラフィック

の多様化によって、ルータ/スイッチによるインタフェースのレート計測では性能を把握することは難しい。

本論文では、まず実トラフィックを用いてVoIPフローの特徴を分析し、固定パケット長(200バイト)で一定間隔(20ミリ秒)のパケットで構成されるVoIPフローの割合が多いことを明らかにした。次に、その特徴を用いて、軽負化VoIPフローの抽出方法、およびVoIPトラフィック全体の遅延変動とパケット損失率の推定方法を提案した。推定方法の評価は実トラフィックを用いて行い、遅延変動については全体の数%の比較的少ないフロー数で遅延変動を把握出来ることを、パケット損失率については少なくとも全VoIPフローの数10%のフローを監視する必要があることを示した。

今後は、本推定方式を用いた二地点計測による特定区間を流れるトラフィックの性能監視方式の開発を行う予定である。

## 文 献

- [1] S. Sen and J. Wang, "Analyzing Peer-to-Peer Traffic Across Large Networks." In Proc. of ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop, Marseilles France, Nov 2002.
- [2] Caspian, <http://www.caspian.com/>
- [3] "Information and Communications in Japan," White paper, Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan, 2005, <http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/eng/WP2005/2005-index.html>
- [4] Abilene, <http://abilene.internet2.edu/>
- [5] "Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies," Recommendation G.711, Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, November 1998.
- [6] "Coding of speech at 8 Kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction," Recommendation G.729, Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, March 1996.
- [7] "End-to-end Quality of Service in TIPON Systems; Part7: Design guide for elements of a TIPHON connection from an end-to-end speech transmission performance point of view," European Telecommunications Standards Institute, ETSI TS 101 329-7 v2.1.1, Feb 2002.
- [8] Y. Kitatsuji, K. Yamazaki, M. Tsuru, and Y. Oie, "Real-Time IP Flow Measurement Tool with Scalable Architecture," IEICE TRANS, INF. & SYST., VOL. E87-D, No. 12 Dec 2004.