

遅延のバースト性を利用したプローブ送出の動的制御手法の提案

A Proposal of Adaptive Control of Probe Sending Based on Bursty of Delay

伊藤 峻
Shun Ito

渡部 康平
Kohei Watabe

中川 健治
Kenji Nakagawa

長岡技術科学大学 電気系
Department of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology

1 概要

インターネットサービスプロバイダ (ISP) が Service Level Agreements (SLAs) の基準を満足することを確認するため、通信品質を正確にモニタリングすることは、ISP と顧客双方にとって重要である [1]。一般的に、ISP では、顧客とのサービス品質に関する取り決めとして、SLAs を定めている。SLAs とは、パケット損失、遅延、遅延変動などの指標を用いてネットワークの通信品質を保証するもので、その評価方法とともにそれらを満たせなかった場合の罰則や補償も規定されている。より高品質なサービスを提供するために SLAs の基準を高度化するには、正確かつ効率的なモニタリングが求められる。例えば、総務省が策定する IP 電話サービスにおける end-to-end 遅延の品質基準は 150 ms 未満であるが、現在 ISP が一般ユーザに対して定めている遅延に関する SLAs は、ほとんどが月間など、長期間での平均遅延についてである。150 ms を超えるような大遅延は希少事象であり、月間などの長期間平均で評価することは困難であるため、遅延の高分位点のモニタリングが必要である。

本稿では、大遅延が発生する期間の割合を推定するために、アクティブ計測のプローブ送出間隔を動的に制御することで、プローブ数を抑制しつつ正確な高分位点推定を実現する方法を提案し、その特性を評価する。精度を向上させるためにはプローブ数を増加させれば良いが、多量のプローブはネットワークに負荷をかけてしまう問題がある。本提案法では過度にプローブを増加させることなく、精度を向上させる。

2 提案法

実ネットワークにおけるトラヒックはバースト性、つまりトラヒックが時間的に集中する性質を示すことが古くから指摘されており [2]、トラヒックのバースト性を反映して、end-to-end の遅延についても同様の性質を示す。ネットワークにおける end-to-end の遅延は、伝搬遅延、伝送遅延、キューイング遅延、処理遅延から構成され、インターネットにおいては伝搬遅延とキューイング遅延が支配的である。伝搬遅延はルートの変更などがなければ大きく変化しないが、キューイング遅延はトラヒックの特性を反映して大きく変化する。

提案法では、遅延のバースト性を利用してプローブ送出間隔を動的に制御する。SLA モニタリングの観点から重要なのは、輻輳が発生した期間における遅延の挙動であり、それ以外の期間における遅延の挙動はあまり重

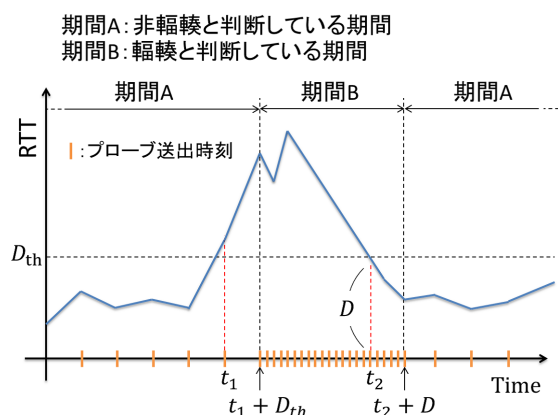


図1 提案法の動作

要でない。本研究では、プローブの Round Trip Time (RTT) の増大をトリガーにして送出間隔を短くすることで、輻輳の発生期間の遅延の挙動を詳細に計測する。

提案法の概要を図1に示す。提案法では、測定ホストにプローブを送出し、その測定ホストからの返答パケットを受信することで RTT を推定する。非輻輳と判断している期間はプローブ送出間隔を疎にし、輻輳と判断している期間はプローブ送出間隔を密にする。この輻輳か非輻輳かの判断を行うために、RTT にしきい値 D_{th} を設ける。図中の t_1 は非輻輳と判断している期間中において、最初に RTT が D_{th} 以上となったプローブの送出時刻である。提案法はプローブが D_{th} 以内に返って来なかった時点で輻輳と判断するため、輻輳と判断している期間の始まりは $t_1 + D_{th}$ となる。また、 t_2 は輻輳と判断している期間中において、最初に RTT が D_{th} を下回ったプローブの送出時刻で、 D はそのプローブの RTT である。提案法はプローブが D_{th} より早く返ってきた時点で非輻輳と判断するため、輻輳と判断している期間の終わりは $t_2 + D$ となる。送信間隔が変化するため、それぞれのプローブに対応した重み W_i を付ける。

提案法には前述の D_{th} に加え、 I_d 、 I_s 、 T_{out} 、 S の5個のパラメータが存在する。 D_{th} は輻輳を判断するための RTT のしきい値である。 I_d は輻輳時に密にプローブを送出する際の送出間隔で、 I_s は非輻輳時に疎にプローブを送出する際の送出間隔である。 T_{out} はパケットのロス判定するためのパラメータで、この時間内に返らない場合パケットをロスと判定し破棄する。 S のはプローブパケットのサイズである。

3 評価

提案法で RTT の高分位点を推定する際の精度を評価するために、長岡技術科学大学から google.co.jp (173.194.120.88) までの RTT を測定した。提案法の RTT の測定には ping と同様に Internet Control Message Protocol (ICMP) パケットを用いている。提案法は測定ホストに対して ICMP エコー要求パケットを送出し、送出時刻とエコー応答パケットの受信時刻の差から RTT を推定する。

測定に使用した提案法のパラメータは、RTT しきい値 D_{th} は過去 5 秒間に観測した最低 RTT に 3 ms 加えた値としている。また、輻輳時のプローブ送出間隔 I_d を 1 ms とし、非輻輳時のプローブ送出間隔 I_s を 10 ms としている。加えて、タイムアウト T_{out} を 3000 ms としている。プローブパケットはデータ部が無いヘッダのみのパケットとしたため、プローブパケットサイズ S は 64 bit となる。

提案法による測定を 1 時間行い、RTT の分位点を算出した。また、比較のためにプローブ送出間隔を 1 ms、10 ms に固定した測定も同時に行った。それぞれの測定結果から算出した分位点のうち、1 ms 固定の結果を真値として提案法と 10 ms 固定の平均相対誤差を比較する。また各手法の平均総プローブ数も合わせて比較を行う。分位点とは、例えば 90 % 分位点と言った場合、 n 個の測定値（本研究で言えば RTT） $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ を、昇順にソートした $[0.9 \times n \%]$ 番目の値である。ここで $\lceil \cdot \rceil$ は天井関数である。提案法ではプローブ毎の重みを考慮し、重みの累積を取り 0.9 を超えた値に対応する RTT を分位点の推定値としている。

測定結果より算出した 90～99.9 % 分位点の 10 回の平均について比較を行った結果を図 2 に示す。また、各測定の平均総プローブ数を図 3 に示す。図 2 を見ると、ほとんどの場合において 10 ms 固定に比べて提案法の平均相対誤差が小さくなっていることが分かる。提案法は 10 ms 固定と比べると最大で約 80 % 平均相対誤差が小さくなっている。平均相対誤差が小さくなった要因は、提案手法により輻輳と判断している期間のみプローブ送出間隔を密にすることで、輻輳時の RTT の変化を 10 ms 固定に比べて詳細に捉えることができたためと考えられる。また図 3 を見てみると、提案法は 10 ms 固定に比べわずか 2.79 % のプローブ数の増加で精度を 5 倍近くにしたことが分かる。

4 まとめと今後の展望

本稿では、RTT の高分位点を効率的に推定するためのプローブ送出手法を提案した。提案手法はわずか 2.79 % プローブ数を増加させるだけで、送信間隔を 10 ms に固定した測定よりも、平均相対誤差を最大で約 80 % 小さくすることができた。

提案法の次のアプローチとして、輻輳の発生を予測してプローブの送信間隔を密に制御する手法を検討してい

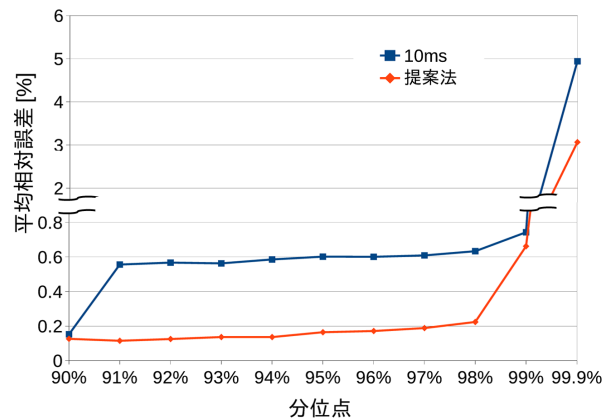


図 2 1ms 固定との平均相対誤差

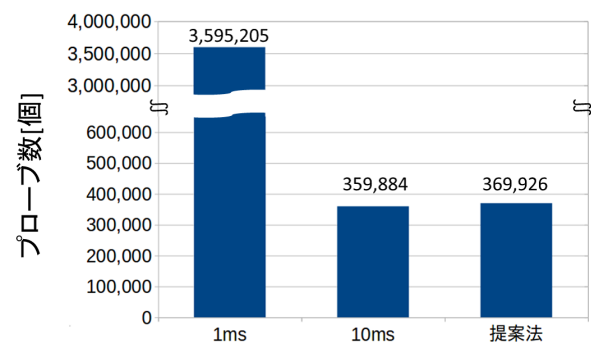


図 3 各測定の平均総プローブ数

る。現在は輻輳の予測を行う知見を得るために、全国のさまざまなホストに対して、RTT の測定を行っている。その結果、輻輳にはある一定周期で繰り返すような周期性があることが分かった。ネットワークにおける周期性は様々な研究で報告されている [3]。周期性を利用することで、輻輳の起きる時刻を予測し、密にプローブを送出することでより高精度に RTT を推定できる可能性がある。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 研究活動スタート支援 26880008 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Joel Sommers, Paul Barford, Nick Duffield, and Amos Ron, “Accurate and Efficient SLA Compliance Monitoring”, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol.37, no.4, p.109-120, October 2007.
- [2] Will E. Leland, Murad S. Taqqu, Walter Willinger, and Daniel V. Wilson, “On The Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version)”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.2, no.1, pp.1-15, February 1994.
- [3] Sally Floyd, and Van Jacobson, “The Synchronization of Periodic Routing Message”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.2, no.2, pp.122-136, April 1994.