active計測の試験パケット送出時刻における揺らぎ量の分析

Analysis of the Magnitude of Fluctuations in Probe Timing for Active Measurement

渡部 康平 † 会田 雅樹 †

Kohei Watabe Masaki Aida

首都大学東京大学院 システムデザイン研究科 †

Graduate School of System Design,Tokyo Metropolitan University

1 はじめに

近年，ストリーミングや VoIP を利用したサービスが一般化してきている．これらのリアルタイム性の高いサービスは遅延などの特性がパフォーマンスに大きな影響を及ぼすため，エンドユーザによるネットワーク品質の計測を実現する active 計測の重要性は増している．

遅延やロス率の active 計測において，Baccelli らはある条件下で，試験パケットの送出間隔を従来の指数分布間隔から固定値間隔に近づけると推定精度が平均的に改善することを示した [1]．しかし固定値間隔の場合，試験パケットの周期とネットワーク状態の周期が一致すると，計測精度が著しく悪化するフェーズロック現象が発生する可能性があるため，必ずしも固定値が最適ではない．

Baccelli らはこのトレードオフの解決にガンマ分布間隔の試験パケット送出を提案したが，パラメータと推定精度の関係を示しておらず，最適な試験パケット送出法の特定には至っていない．

本研究では，計測対象のネットワークの特性に対して最適な試験パケット送出方法を考察する．

2 揺らぎを付加した試験パケット送出法の提案

遅延やロス率の active 計測はネットワーク状態を表す確率過程を試験パケット送出のタイミングでサンプリングしていると見なすことができる．前述のフェーズロック現象は，計測を行っていた時間内における確率過程の持つ特定の周期成分が偶然強まることで発生する．この偶然の周期性を回避するためには，試験パケットの送出時刻にランダムな揺らぎを付加し，特定周期の同期を回避することが有効であると考えられる．

本研究では，以下のように i 番目の試験パケット送出時刻 $T_i\,(i=1,2,\dots,m)$ に正規乱数による揺らぎを与える送出法を提案する．

$$T_i = (S+G_i) - l\left\lfloor \frac{S+G_i}{l} \right\rfloor$$

ここで，S，G_i はそれぞれ一様分布 $U(0,l/m)$，正規分布 $N((i-1)l/m,\sigma^2)$ に従う確率変数，l は計測実施期間長，m は試験パケット総数，σ は与える揺らぎの大きさを表す．この時，計測対象の確率過程を $X(t)$ として，推定値 $\hat{P}=\sum_{i=1}^{m} X(T_i)/m$ が時間平均 $\int_0^l X(t)/l\,\mathrm{d}t$ に対して不偏推定量となっている．

3 最適な揺らぎ量の特定

推定値 $\hat{P}$ の推定精度は推定値の分散 $\mathrm{E}[\mathrm{Var}[\hat{P}|X(t)]]=e_1(\sigma)$ で評価できるが，これは推定精度の平均的な良し悪しを意味する．前述の通りフェーズロック現象は平均的な推定精度では評価できないため，推定精度の分散 $\mathrm{Var}[\mathrm{Var}[\hat{P}|X(t)]]=e_2(\sigma)$ も同時に評価する必要がある．

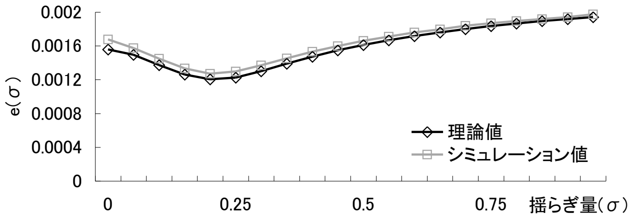

図 1 評価関数のシミュレーション値と理論値

$e_1(\sigma)$ と $e_2(\sigma)$ はそれぞれ $X(t)$ の自己共分散関数 $r(\tau)$ を用いることで近似的に以下のように表せる．

$$e_1(\sigma)=\sum_{i=1}^{\infty}\frac{4}{lm}w_i r_i,\qquad e_2(\sigma)\simeq\sum_{i=1}^{\infty}\left(\frac{4}{lm}w_i r_i\right)^2$$

$$w_i=\begin{cases}1+(m-1)\mathrm{e}^{-(2\pi i\sigma/l)^2}, & i=mj\ (j=1,2,\dots)\\ 1-\mathrm{e}^{-(2\pi i\sigma/l)^2}, & \text{otherwize}\end{cases}$$

$$r_i=\int_0^l\left(1-\frac{\tau}{l}\right)\cos\left(\frac{2\pi i}{l}\tau\right)r(\tau)\,\mathrm{d}\tau$$

ネットワーク特性を表す $r(\tau)$ を与えれば，評価関数 $e(\sigma)=e_1(\sigma)+\sqrt{e_2(\sigma)}$ が最小となる σ を特定することができ，この σ に対応する $\{T_i\}$ をフェーズロックを回避し，同時に平均的推定精度も良好である最適な試験パケット送出法と定義する．図 1 に $X(t)$ として ON-OFF 区間長がそれぞれ平均 0.5 s，2 s の指数分布に従う ON-OFF 過程を与え，$l=100$ s，$m=100$ とした場合のシミュレーションから得られた $e(\sigma)$ との比較を示した．図より，適切に $e(\sigma)$ を再現できていることが確認できる．

4 おわりに

固定値間隔に揺らぎを付加する試験パケット送出法を提案し，また，フェーズロックの回避と平均的推定精度の両方を満たす最適な揺らぎ量を特定することができた．

謝辞

本研究は科研費基盤研究 (B) 21300027 および NICT 委託研究「新世代ネットワーク技術戦略の実現に向けた萌芽的研究」より研究費の援助を受けて実施した．

参考文献

[1] F. Baccelli, S. Machiraju, D. Veitch and J. Bolot: “On optimal probing for delay and loss measurement”, Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement, pp. 291–302 (2007).