アクティブ計測とパッシブ計測を用いた L_1 ノルム最小化によるパケット損失率推定

Estimation of packet loss rate by minimizing L_1 norm using active measurement and passive measurement

手崎 達也 Tatsuya Tesaki　　渡部 康平 Kohei Watabe　　中川 健治 Kenji Nakagawa

長岡技術科学大学 大学院 工学研究科
Graduate School of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology

1 概要

通信事業において，ネットワーク内部状態の把握は重要な問題である．内部状態計測に関する手法はいくつか存在するが，計測結果から線形逆問題を解いて内部状態推定を行うネットワークトモグラフィと呼ばれる手法が存在する．

この手法では主にアクティブ計測とパッシブ計測の 2 種類の計測手法が用いられる．パケット損失率推定においてはアクティブ計測とパッシブ計測を併用することにより，それぞれの計測コストを抑えつつ高精度な推定を行う手法が提案されている [1]．この手法では一部のパスに対してアクティブ計測を行わず未計測とし，EM アルゴリズムを用いてパッシブ計測によるネットワークパケット損失率の計測結果と統合することにより低コストの推定を可能としている．

しかし，この手法で高精度な推定を行うには未計測値を高い精度で推定する必要があり，また EM アルゴリズムを用いることで計算量も増加する．このため，EM アルゴリズムを使用せずアクティブとパッシブの 2 種類の計測結果からリンクパケット損失率を推定する手法を新たに提案する．

2 提案手法

アクティブ計測により計測されるパス W_i のパケット損失率 l_i とリンク e_j のパケット損失率 q_j が独立だと仮定すると，パスパケット到達率 $1-l_i$ はパスに属するリンクのパケット到達率 $1-q_j$ の積で表されることから $1-l_i=\prod_{e_j\in W_i}(1-q_j)$ であり，$y_i=-\log(1-l_i)$, $x_j=-\log(1-q_j)$ としてベクトル表記すると $\vec{y}=A\vec{x}$ ここで A はルーティング行列である．アクティブ計測により計測されるパケット損失率 $\vec{y}_o$ と計測されないパケット損失率 $\vec{y}_m$ に分割され，

$$\vec{y}^T=(\vec{y}_o^T,\vec{y}_m^T) \qquad \vec{y}_o=A_o\vec{x}, \qquad \vec{y}_m=A_m\vec{x} \tag{1}$$

となる．また，ネットワークのパケット損失率を α，パッシブ計測におけるパスの利用比率を $\alpha=\vec{\beta}_o^T\vec{l}_o+\vec{\beta}_m^T\vec{l}_m$ とした時，$\vec{y}_m=A_m\vec{x}$ は $\alpha-\vec{\beta}_o^T\vec{l}_o=\vec{\beta}_m^T(1-\exp(-A_m\vec{x}))$ とすることができる．以上より，リンクパケット損失率の持つスパース性から L_1 ノルム最小化問題と考えると

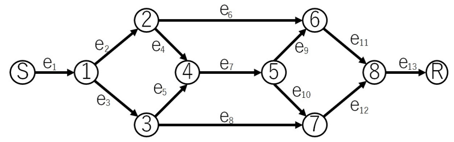
$$\begin{aligned}\vec{x}=\arg\min_{\vec{x}}[\sigma_x^{-1}||\vec{x}||_1+\frac{1}{2\sigma_y^2}||\vec{y}_o-A_o\vec{x}||^2\\+\frac{1}{2\sigma_l^2}||(\alpha-\vec{\beta}_o^T\vec{l}_o)-(\vec{\beta}_m^T(1-\exp(-A_m\vec{x})))||^2]\end{aligned} \tag{2}$$

と定式化できる．これにより，未計測パスに関する方程式が減ることでより難しい逆問題となるものの，$\vec{y}_m$ の詳細な情報が不要であり従来法で用いる EM アルゴリズムを使用しないことから，より高速な推定を可能とする．

3 シミュレーション

図 1 のトポロジーに対して推定を行う．$q_2,q_{10}=0.05$，それ以外のリンクを $q_j=0$，パス使用比率 $\vec{\beta}_i=1/6$ ($i=1,\ldots,6$)，σ_x,σ_y,$\sigma_l=10^{-10}$ とし，$[W_1,W_2]$ を未計測とした際の推定結果を図 2 に示す．

図の結果より従来法よりも高い精度で推定可能であることを確認し，また従来法の収束条件を 10^{-5} としたときに比べおよそ 80 倍高速化されることも確認した．



$W_1=[e_1,\ e_2,\ e_6,\ e_{11},\ e_{13}]$　$W_2=[e_1,\ e_2,\ e_4,\ e_7,\ e_9,\ e_{11},\ e_{13}]$

$W_3=[e_1,\ e_2,\ e_4,\ e_7,\ e_{10},\ e_{12},\ e_{13}]$　$W_4=[e_1,\ e_3,\ e_8,\ e_{12},\ e_{13}]$

$W_5=[e_1,\ e_3,\ e_5,\ e_7,\ e_9,\ e_{11},\ e_{13}]$　$W_6=[e_1,\ e_3,\ e_5,\ e_7,\ e_{10},\ e_{12},\ e_{13}]$

図 1: 推定対象トポロジー

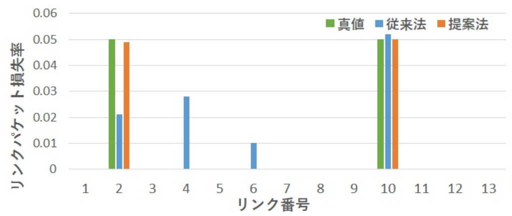


図 2: 推定結果

4 まとめ

アクティブ計測とパッシブ計測を併用したパケット損失率推定において，L_1 ノルム最小化を利用した新たな手法を提案した．結果として従来法に比べ高い精度の推定が高速に実行可能であることが確認された．ただし，従来法に比べネットワークの拡大及び未計測パスの増加時に精度が低下することが考えられるため，さらなる検証と改良が必要である．

参考文献

[1] 宮本 敦史，渡辺 一帆，池田 和司，”アクティブ計測とパッシブ計測を用いたパケット損失率推定法”，電子情報通信学会 信学技報，2012