

L_1 ノルム最小化によるパケット損失率推定の高速化

Acceleration of Packet Loss Rate Estimation by L_1 Norm Minimization

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 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として、計測結果から線形逆問題を解くことで内部状態推定を行うネットワークトモグラフィという手法がある。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で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実現する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せず欠損値として扱い、パッシブ計測による計測結果と EM アルゴリズムを用いて統合することにより、低コストの推定を実現している。しかし、この手法では高精度の推定を行うために未計測値の推定精度が高い必要があり、また EM アルゴリズムを用いることで計算量も増加する。本研究では、EM アルゴリズムを使用せずアクティブ計測とパッシブ計測の2種類の計測結果からリンクのパケット損失率を推定する新たな手法を提案する。

2 提案手法

パス W_i に属するリンク e_j と $e_{j'}$ におけるパケット損失は独立だと仮定する。パス W_i のパケット損失率を l_i とし、 W_i に属するリンク e_j のパケット損失率を q_j とすると $1 - l_i = \prod_{e_j \in W_i} (1 - q_j)$ となる。 $y_i = -\log(1 - l_i)$, $x_j = -\log(1 - q_j)$ としてベクトル表記すると $\vec{y} = A\vec{x}$ となる。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スのパケット損失率 \vec{y}_o と計測されないパスのパケット損失率 \vec{y}_m に分割され、

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

となる。また、送受信間の全てのパスのパケット損失率 α はパッシブ計測におけるパスの利用比率 β を用いて $\alpha = \beta_o^T \vec{l}_o + \beta_m^T \vec{l}_m$ と表され、このときテイラー展開より $l_i = y_i$ と近似することにより $\beta_m^T \vec{l}_m = \beta_m^T A_m \vec{x}$ の線形方程式を得ることができる。

以上より、リンクの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

$$\begin{aligned} \vec{x} &= \arg \min_{\vec{x}} \|\vec{x}\|_1 \\ \text{subj. to } & \vec{y}_o = A_o \vec{x} \quad \alpha - \beta_o^T \vec{l}_o = \beta_m^T A_m \vec{x} \end{aligned} \quad (2)$$

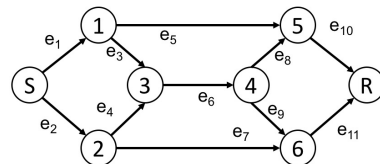
と定式化できる。これにより、未計測パスに関する方程式の個数が減ることにより難しい逆問題となるものの、

\vec{y}_m の要素の推定が不要となり EM アルゴリズムを必要としないため、より高速な推定を可能としている。

3 シミュレーション

図1のトポロジーに対し推定を行う。 $q_1, q_9 = 0.05$, それ以外のリンクのパケット損失率を $q_j = 0$, パス使用比率 $\beta_i = 1/6$ ($i = 1, \dots, 6$) とし、 $[W_2, W_5]$ を未計測とした際のリンクのパケット損失率推定結果と各手法の実行時間を表1に示す。

図2の結果より従来法と同等の精度を保ちつつ、提案法によって約100倍の高速化がなされていることを確認できる。



$$W_1 = [e_1, e_5, e_{10}] \quad W_2 = [e_1, e_3, e_6, e_8, e_{10}]$$

$$W_3 = [e_1, e_3, e_6, e_9, e_{11}] \quad W_4 = [e_2, e_7, e_{11}]$$

$$W_5 = [e_2, e_4, e_6, e_9, e_{11}] \quad W_6 = [e_2, e_4, e_6, e_8, e_{10}]$$

図1: 推定対象トポロジー

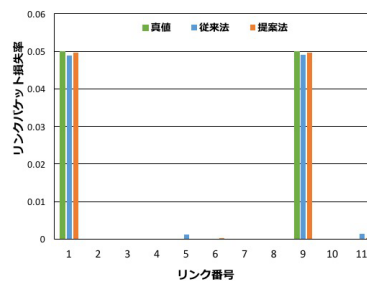


図2: 推定結果

表1: 実行時間

従来法	提案法
190.31[s]	1.89[s]

4 結論

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推定手法を提案した。シミュレーションによって、従来法と同等の精度を保ちつつ推定が高速に実行可能であることを確認した。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