

マルチキャスト通信における L_1 ノルム最小化による パケット損失率推定

Packet loss rate estimation by L_1 norm minimization in multicast

吉川 泰司
Kichikawa Taiji

中川 健治
Kenji Nakagawa

渡部 康平
Kohei Watabe

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、ネットワーク内部の把握が重要な問題となる。ネットワーク内部を推定する技術であるネットワークトモグラフィにはアクティブ計測とパッシブ計測がある。パケット損失率推定においては、アクティブ計測による L_1 ノルム最小化による推定法、アクティブ計測とパッシブ計測を併用した L_1 ノルム最小化法 [1] がある。本研究は [1] をマルチキャストに拡張し、ネットワーク負荷を抑えるために、従来のアクティブ計測による L_1 ノルム最小化よりもアクティブ計測を行うパス減らして推定する。

2 文献 [1] によるパケット損失率推定法

パケット損失率推定法ではリンクのパケット損失率を \vec{q} とし、パケット損失は各リンクで独立であると仮定する。ネットワークの構成を示すルーティング行列を A 、パスのパケット損失率を \vec{l} 、パスの使用比率を $\vec{\beta}$ とする。これらをアクティブ計測を行うパスと行わないパスによって、 $A^T = (A_o^T, A_m^T)$, $\vec{\beta}^T = (\vec{\beta}_o^T, \vec{\beta}_m^T)$, $\vec{l}^T = (\vec{l}_o^T, \vec{l}_m^T)$ と分割する。 \vec{l} , \vec{q} の対数変換をそれぞれ、 \vec{y} , \vec{x} とすると、アクティブ計測により $\vec{y}_o = A_o \vec{x}$ が得られる。パッシブ計測によって得られたネットワークのパケット損失率 α は $\alpha = \vec{\beta}_o^T \vec{l}_o + \vec{\beta}_m^T \vec{l}_m$ となる。テイラー展開によって、 $\vec{y} = \vec{l}$ と近似することで、 $\alpha - \vec{\beta}_o^T \vec{l}_o = \vec{\beta}_m^T A_m \vec{x}$ となり、リンクのパケット損失はスパース性を持つため、パケット損失率推定は L_1 ノルム最小化問題

$$\vec{x} = \arg \min_{\vec{x}} \|\vec{x}\|_1 \quad \text{s.t.} \quad \vec{y}_o = A_o \vec{x}, \alpha - \vec{\beta}_o^T \vec{l}_o = \vec{\beta}_m^T A_m \vec{x}$$

として定式化できる [1]。

3 マルチキャストへの拡張

マルチキャストになったことにより、パッシブ計測の計測機器が増え、パッシブ計測による式も増える。パス数を M 、受信機数を R とすれば、 α は R 次元のベクトル $\vec{\alpha}$ 、 $\vec{\beta}$ は $M \times R$ の行列となり B と表記し、

$$\vec{\alpha} = B^T A_m \vec{x} \quad (1)$$

となる。これにより、パッシブ計測の式が 1 から R に増える。(1) 式を $\alpha = \vec{\beta}_o^T \vec{l}_o + \vec{\beta}_m^T \vec{l}_m$ と変えて、

$$\vec{x} = \arg \min_{\vec{x}} \|\vec{x}\|_1 \quad \text{s.t.} \quad \vec{y}_o = A_o \vec{x}, \vec{\alpha} = B^T A_m \vec{x} \quad (2)$$

とマルチキャストの場合を定式化できる。

4 シミュレーション

図 1 に示すリンク数 $L = 19$ 、パス数 $M = 12$ 、受信機数 $R = 3$ のトポロジーで数値シミュレーションを行う。従来のアクティブ計測のみの場合と提案法の場合で比較する。ネットワークの負荷を抑えるために、計測パスを減らしていき、全ての計測パスの組合せで推定を行う。損失リンクを一意に推定が行えた場合に推定可能とし、計測パス数に対する推定可能な組合せ数を表 1 に示す。表 1 からアクティブ計測のみの場合では計測パスは 11 本よりも少なくなると推定可能な組合せは 0 となり最低でも 10 本必要だが、提案法では最低 8 本で推定可能となっている。受信機数が増え、パッシブ計測から得られる情報が増えたことによって、提案法の方が推定可能な組合せ数が多く、より多くの計測パスを削減することができている。

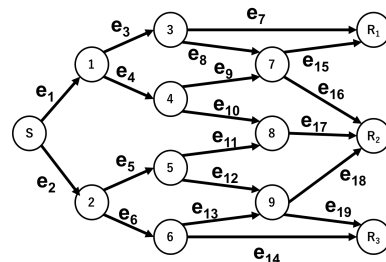


図 1: 推定対象トポロジー

表 1: 計測パス数に対する推定可能な組合せ数

計測パス数	12	11	10	9	8	7	...
アクティブ計測のみ	1	8	16	0	0	0	...
提案法	1	8	24	32	15	0	...

5 結論

従来法 [1] をマルチキャストに拡張し、定式化した (2) 式を提案した。これにより、従来のアクティブ計測のみの L_1 ノルム最小化と比べて、ネットワークの負荷を軽減する目的で計測パスの削減することができた。しかし、組合せによって推定不可能である組合せもあるため、計測パスの選択方法が必要となる。

参考文献

- [1] 手崎達也, 渡部康平, 中川健治, " L_1 ノルム最小化によるパケット損失率推定の高速化", 電子情報通信学会 総合大会, 2018