

リンク使用率推定のための観測リンク選択手法

樽谷 優弥[†] 大下 裕一^{††} 荒川 伸一^{†††} 村田 正幸^{†††}

[†] 大阪大学 基礎工学部

^{††} 大阪大学 大学院経済学研究科

^{†††} 大阪大学 大学院情報科学科

E-mail: [†]y-tarutn@ics.es.osaka-u.ac.jp, ^{††}y-ohsita@econ.osaka-u.ac.jp,

^{†††}{arakawa,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし トラフィックエンジニアリングに必要となるトラフィック情報取得のために、定期的に各リンクのリンク使用率を収集し推定する手法が検討されている。しかしながら、大規模なネットワークでトラフィックエンジニアリングを行う場合には、リンク使用率の収集が必要なリンクの本数が膨大となる。本稿では、一部の観測リンクを選択し、選択されたリンクのリンク使用率のみから、ネットワークの全リンクのリンク使用率を推定する手法を提案する。評価結果より、提案手法が全リンクのうち4割のリンクを選択することにより、推定されたリンク使用率の平方平均二乗相対誤差をネットワークに流入・ネットワーク外に流出するトラフィック量のみを用いて推定した場合の1/10にすることができることが明らかとなった。

キーワード トラフィックエンジニアリング、トラフィックマトリクス、Tomogravity 手法、推定

Selecting monitored links for estimating all link utilizations

Yuya TARUTANI[†], Yuichi OHSITA^{††}, Shin'ichi ARAKAWA^{†††}, and Masayuki MURATA^{†††}

[†] School of Engineering Science, Osaka University

^{††} Graduate School of Economics, Osaka University

^{†††} Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

E-mail: [†]y-tarutn@ics.es.osaka-u.ac.jp, ^{††}y-ohsita@econ.osaka-u.ac.jp,

^{†††}{arakawa,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract Link utilizations are required to perform traffic engineering. However, when the size of networks increase and, for example, the number of virtual networks to be managed increases significantly, we have to monitor a large number of links. In this paper, we propose a method to estimate all link utilizations from a sub-set of link utilizations. In addition, we propose a method to select the links to be monitored. In this paper, we clarify that our method reduce RMSRE to 1/10 by monitoring 40% of all links.

Key words Traffic Engineering, Traffic Matrix, Tomogravity, Estimation

1. はじめに

近年、クラウド・コンピューティングに代表される多様なサービスがネットワーク上で提供されるようになっており、多様なサービスをサービスの要求に合致しつつ、迅速に展開することを可能とする、ネットワーク仮想化 [1] が注目されている。ネットワーク仮想化技術により、サービスごとに仮想ネットワークを構築することで、物理的な制約を受けずに、各サービスの要求に合致したネットワークを提供することができる。また、ネットワークが仮想化された環境では、トラフィック変動が発生しても、仮想ネットワークの構成や経路を動的に変更するトラフィックエンジニアリング手法 [2, 3] を用いることにより、各仮

想ネットワーク内の輻輳の発生や遅延の増大を解消し、サービスの要求に合致した状態を維持することができる。

トラフィックエンジニアリングを行うためには、定期的に各リンクのリンク使用率を収集することにより、各仮想ネットワークを流れるトラフィック量を把握する必要がある。しかしながら、今後、ネットワーク上のサービスの多様化がさらに進み、トラフィックエンジニアリングが必要な仮想ネットワークの数も著しく増加すると考えられる。多数の仮想ネットワークでトラフィックエンジニアリングを行うには、トラフィックエンジニアリングが必要な全仮想ネットワークの全リンクのリンク使用率が必要となり、収集が必要な情報量が著しく大きくなる。そのため、全リンクの情報を頻繁に収集することは困難であり、少数のリ

リンクの情報から、ネットワーク全体のトラフィック量を把握する必要がある。

本稿では、少数の観測対象リンクを選択し、選択されたリンクのリンク使用率のみから、ネットワーク内の全リンクのリンク使用率を推定する手法を提案する。また、シミュレーションによる評価を行い、提案手法が少ない本数のリンクの観測により、リンク使用率の推定誤差を著しく削減することができることを明らかにする。

2. リンク使用率の推定のための観測リンク選択手法

本稿では、選択された一部のリンクのリンク使用率を収集し、収集されたリンク使用率から全リンクのリンク使用率を推定することにより、全リンクのリンク使用率を観測・収集することなく、トラフィックエンジニアリングに必要な全リンクのリンク使用率を得る手法を提案する。

提案手法は以下の手順により動作する。

(1) 観測リンクを選択し、選択された観測リンクのリンク使用率を収集

(2) リンク使用率から各対地間トラフィック量を表すトラフィックマトリクスを推定

(3) トラフィックマトリクスからリンク使用率を推定以降、各手順の詳細について述べる。

2.1 観測リンクの選択

提案手法では、観測リンクのリンク使用率から観測リンクを経由している対地間トラフィック量を推定し、推定された対地間トラフィック量を元に観測対象外のリンク使用率の推定を行う。つまり、観測対象外のリンク使用率の推定は、同一対地間トラフィックが経由している他のリンクの観測結果から行われる。そのため、経由している対地間トラフィックの本数が多いリンクのリンク使用率の推定は、多くの他のリンクの観測結果を推定に用いることができ、容易なのに対して、経由する対地間トラフィックの本数が少ないリンクのリンク使用率の推定は、推定時に用いることができる他のリンクの観測結果が少なく、推定が難しいと考えられる。

そこで、提案手法では、各リンクを経由する対地間トラフィックの本数を求め、経由する対地間トラフィックの本数が少ないリンクを観測リンクとして選択する。経由する対地間トラフィックの本数が少ないリンクを観測リンクとすることにより、リンク使用率の推定が難しいリンクを優先的に観測することができ、リンク使用率の推定誤差が大きくなることを防ぐことができる。

2.2 トラフィックマトリクスの推定

2.1 で選択されたリンクのリンク使用率を観測・収集し、収集されたリンク使用率のみを用いてトラフィックマトリクスを推定する。ここで、収集した一部のリンクのリンク使用率を表す行列 X' を以下のように定義する。

$$X' = \begin{bmatrix} X'_1 \\ \vdots \\ X'_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 X_l はリンク l を流れるトラフィック量とし、 X'_l は以下で定義される。

$$X'_l = \begin{cases} X_l & (l \text{ が観測リンクの場合}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (2)$$

また、観測リンクと観測リンクを経由する対地間トラフィックの対応を表す行列 A' を以下のように定義する。

$$A' = \begin{bmatrix} A'_{1,1,1} & A'_{1,2,1} & \cdots & A'_{N,N,1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A'_{1,1,L} & A'_{1,2,L} & \cdots & A'_{N,N,L} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ただし、 $A'_{i,j,l}$ は以下で定義される。

$$A'_{i,j,l} = \begin{cases} A_{i,j,l} & (l \text{ が観測リンクの場合}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (4)$$

$A_{i,j,l}$ はノード i から制御ネットワーク内に流入しノード j から制御ネットワーク外に流出する対地間トラフィックがリンク l を通過する割合であり、経路情報から求めることができる。 X' 、 A' とトラフィックマトリクス T の間には以下の関係が成り立つ。

$$X' = A'T \quad (5)$$

そこで、観測リンクのリンク使用率を用い、式 (5) の関係が成り立つように、トラフィックマトリクス推定手法 [4] により、トラフィックマトリクスを推定する。

2.3 リンク使用率の推定

式 (5) を用いて推定されたトラフィックマトリクス \hat{T} を用いて以下のように、全リンクのリンク使用率を表わす行列 \hat{X} を推定する。

$$\hat{X} = A\hat{T} \quad (6)$$

ただし、 A は、ノード i から制御ネットワーク内に流入しノード j から制御ネットワーク外に流出する対地間トラフィックがリンク l を通過する割合 $A_{i,j,l}$ を要素とする以下で定義される行列である。

$$A = \begin{bmatrix} A_{1,1,1} & A_{1,2,1} & \cdots & A_{N,N,1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{1,1,L} & A_{1,2,L} & \cdots & A_{N,N,L} \end{bmatrix} \quad (7)$$

この手順により、選択された少数の観測リンクのリンク使用率からネットワーク内の全リンクのリンク使用率を推定することが可能となる。

3. 評価

3.1 評価環境

本評価では、米国の通信会社 AT&T 社のネットワークを計測することにより得られた 523 ノード 1304 リンクのトポロジ [5] を用いた。また、全ノードからトラフィックの流入、流出があるものとし、トラフィックの流入・流出に関するリンクは常に観測するものとした。

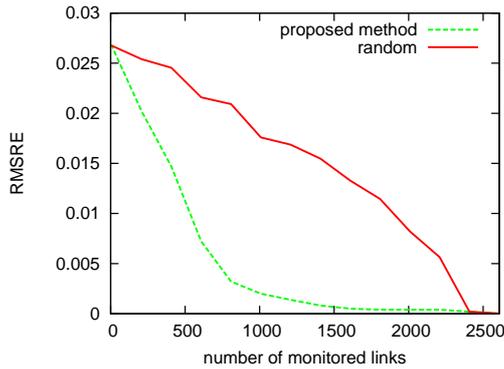


図1 評価結果

本評価では、文献[4, 6]に従い、トラヒックマトリクス of 各要素の分布は対数正規分布に従い、かつ Gravity モデルに従うというモデルを用いてトラヒックマトリクスを生成する。このモデルを用い、以下のように、トラヒックマトリクスを生成する。

$$T = T^{grav} + \Delta \quad (8)$$

ただし、 T^{grav} は要素の分布が対数正規分布に従いつつ、Gravity モデルに合致するトラヒックマトリクス、 Δ はモデルの誤差分を表わす行列である。 T^{grav} が Gravity モデルに従うように、 T^{grav} の各要素は各ノードに割り当てた重みの積として生成する。各ノードの重みは T^{grav} の要素の分布が文献[6]の Abilene ネットワークでの観測結果に合致するように平均 $e^{4.8}$ 、分散 $e^{9.7}$ の対数正規分布に従った乱数として与えた。

Δ の値は平均 0、分散 1 の正規乱数を用いて与える。また、本評価では、トラヒックマトリクスの推定は Tomogravity 手法[4]を用いる。

3.2 評価指標

本評価では、推定された観測リンク本数に対するリンク使用率の平方平均二乗相対誤差 (RMSRE) を評価指標として用いる。リンク使用率の RMSRE を X_{RMSRE} とおくと、 X_{RMSRE} は以下で定義される。

$$X_{RMSRE} = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \left(\frac{\hat{X}_k - X_k}{X_k} \right)^2} \quad (9)$$

ただし、 L は、ネットワーク内のリンク数であり、 \hat{X}_k は推定により求められたリンク k のリンク使用率、 X_k は実際のリンク k のリンク使用率をあらわす。

3.3 評価結果

図1に評価結果を示す。図1の縦軸はリンク使用率の RMSRE、横軸は選択した観測リンク数である。また、“proposed method” は提案手法によるリンクの選択を行った場合であり、“random” はランダムに観測リンクを選択した場合である。図1より、提案手法によって選択された観測リンクの情報を追加することにより、少数のリンクの観測でリンク使用率の RMSRE を著しく削減できることが分かる。

この原因は次のように考えられる。経由する対地間トラヒックの本数が少ないリンクは、リンクの両端のノードが送信元・

宛先となるトラヒックが、リンク上のトラヒック量に占める割合が大きい。このような1ホップの対地間トラヒックは、周辺のリンクの観測結果から推定することはできない。そのため、対地間トラヒックの本数が少ないリンクは、リンク使用率を正確に推定することが難しく、対地間トラヒックの本数が少ないリンクを観測対象外とすると、リンク使用率の推定誤差が大きくなると考えられる。

それに対して、提案手法で観測対象から除外される、経由している対地間トラヒックの本数が多いリンクは、トポロジの中心部に位置する。このようなトポロジの中心部に位置するリンクを経由する対地間トラヒックの多くは、周辺のリンクを経由する対地間トラヒックと共通である。そのため、提案手法で観測リンクを選択した場合には、観測対象外のリンクのリンク使用率は、周辺の観測リンクのリンク使用率から正確に推定を行うことが可能である。

4. おわりに

本稿では、一部の観測リンクを選択し、選択された観測リンクの情報から、ネットワークの全リンクのリンク使用率を推定する手法を提案した。また、シミュレーションにより提案手法の評価を行い、提案手法で観測リンクを選択することにより、4割のリンクを観測することで、RMSRE を流入・流出リンクのみを用いた場合の1/10にすることができていることが明らかになった。

本稿では、観測リンク数の削減に着目した評価を行ったが、実際のネットワークでは、リンク使用率の情報はノードから取得する必要がある。今後はリンク使用率の問い合わせノード数削減の観点から有用な手法を立案し評価する。また、より大規模なネットワークでの適用性の評価や推定されたリンク使用率を用いてトラヒックエンジニアリングを行った場合の評価を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金若手研究(B)21700074 によっている。ここに記して謝意を表す。

文献

- [1] T. Miyamura, Y. Ohsita, E. Oki, S. Arakawa, Y. Koizumi, A. Masuda, K. Shiomoto and M. Murata: “Network virtualization server for adaptive network control”, Proceedings of 20th ITC Specialist Seminar on Network Virtualization - Concept and Performance Aspects (2009).
- [2] Y. Ohsita, T. Miyamura, S. Arakawa, S. Ata, E. Oki, K. Shiomoto and M. Murata: “Gradually reconfiguring virtual network topologies based on estimated traffic matrices”, Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 2511–2515 (2007).
- [3] I. Juva: “Robust load balancing”, Proceedings of GLOBECOM, pp. 2708–2713 (2007).
- [4] Y. Zhang, M. Roughan, N. Duffield and A. Greenberg: “Fast accurate computation of large-scale IP traffic matrices from link loads”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, **31**, 1, pp. 206–217 (2003).
- [5] “Rocketfuel: An ISP topology mapping engine”, <http://www.cs.washington.edu/research/networking/rocketfuel/>.
- [6] A. Nucci, A. Sridharan and N. Taft: “The problem of synthetically generating IP traffic matrices: Initial recommendations”, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, **35**, 3, pp. 19–32 (2005).