

# 一部ノードの観測情報のみを用いた 光レイヤトラフィックエンジニアリング

樽谷 優弥<sup>†</sup> 大下 裕一<sup>††</sup> 荒川 伸一<sup>†</sup> 村田 正幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科

<sup>††</sup> 大阪大学 大学院経済学研究科

E-mail: <sup>†</sup>{y-tarutn,arakawa,murata}@ist.osaka-u.ac.jp, <sup>††</sup>y-ohsita@econ.osaka-u.ac.jp

あらまし 光ネットワークにおいて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トラフィック情報をネットワーク内の各ノードから収集する必要がある。しかしながら、大規模な光ネットワークでは、全ノードから定期的にトラフィック情報を収集することは管理サーバへの負荷の増大を招く。本稿では、トラフィック情報の収集による負荷を削減するために、一部のノードを選択し、選択されたノードから収集したトラフィック情報のみからトラフィックマトリクスを推定し、トラフィックエンジニアリングを行う手法を提案する。評価結果より、AT&T トポロジにおいて全ノードの30%のノードから収集したトラフィック情報を用いたトラフィックエンジニアリングによって輻輳を軽減することができることが明らかとなった。

キーワード 推定; 観測ノード選択; トラフィックエンジニアリング; 光ネットワーク

## Optical layer Traffic Engineering using the traffic information from a subset of Nodes

Yuya TARUTANI<sup>†</sup>, Yuichi OHSITA<sup>††</sup>, Shin'ichi ARAKAWA<sup>†</sup>, and Masayuki MURATA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

<sup>††</sup> Graduate School of Economics, Osaka University

E-mail: <sup>†</sup>{y-tarutn,arakawa,murata}@ist.osaka-u.ac.jp, <sup>††</sup>y-ohsita@econ.osaka-u.ac.jp

**Abstract** Traffic information is required to perform optical-layer traffic engineering (TE). However, as the number of nodes in optical networks increases, the overhead for collecting the traffic volume information becomes large. In this paper, we develop a method that reduces the overhead for collecting traffic volume information by selecting a subset of nodes and by only collecting the traffic volume information from the selected nodes. Then, we estimate the traffic matrix using the information gathered from the selected nodes. According to the simulation results, we clarify that our method can accurately identify the congested links in real ISP topologies, where the number of traffic demands passing through some links is large. Furthermore, optical-layer TE can sufficiently mitigate congestion by using the traffic volume estimated by our method from the information of 30% of all nodes in the case of AT&T topology.

**Key words** Estimation; Selection of Source Nodes; Traffic Engineering; Optical Network;

### 1. はじめに

近年、動画配信や Peer-to-Peer に代表される様々な新しいアプリケーションの普及に伴い、ネットワーク上のトラフィック量の時間変化量は年々増加している。このような変動の大きなトラフィックを適切に収容する手法として、仮想的ネットワークのトポロジや経路を動的に変更する光レイヤトラフィックエンジニアリング [1] が提案されている。

光レイヤトラフィックエンジニアリングを行うためには管理サーバが定期的にネットワーク内の各ノードからトラフィック情報を収集することにより、仮想ネットワークを流れる各対地間

のトラフィック量を把握する必要がある。しかしながら、各対地間のトラフィック量を直接観測することは観測によるネットワークの負荷が大きく、収集を行う必要のある対地間のトラフィック量の数も多いため、収集による管理サーバへの負荷が大きい。そのため、これらの負荷を軽減するため、リンク上を流れるトラフィック量から各対地間のトラフィック量を推定する手法が提案されている。しかしながら、従来の推定手法は、全リンク上のトラフィック量を必要としており、すべてのノードからトラフィック情報を収集する必要があるため、管理サーバのトラフィック情報収集にかかる負荷は依然として高いままである。その結果、短い周期でトラフィック状況を把握することができず、短い周期

で発生するトラヒック変動に対応したトラヒックエンジニアリングを行うことができない。

本稿では、トラヒック情報収集にかかる管理サーバの負荷を軽減し、短い周期でのトラヒック量把握を可能とする手法を提案する。提案手法では、一部のノードを選択し、選択したノードから収集したトラヒック情報のみから、トラヒックマトリクスを推定することで、トラヒックエンジニアリングを行う。また、シミュレーションによる評価を行い、提案手法が一部のノードから収集したトラヒック情報を用いてトラヒックマトリクスの推定を行い、トラヒックエンジニアリングを行うことによって輻輳を軽減することができることを明らかにする。

## 2. 一部ノードの情報からトラヒックマトリクスを推定する手法

本稿では、選択された一部のノードから接続されているリンクのトラヒック量を収集し、収集されたトラヒック情報からトラヒックマトリクスを推定することにより、全ノードからトラヒック情報を観測・収集することなく、トラヒックエンジニアリングに必要なトラヒック情報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。

- Step. 1 収集ノードの選択、トラヒック情報の収集
- Step. 2 選択された収集ノードから収集されていないリンク上トラヒック量をおおまかに推定

- Step. 3 トラヒックマトリクスの推定

以降、各手順の詳細について述べる。

### 2.1 収集ノードの選択

提案手法では一部のノードから収集されたトラヒック情報をもとにトラヒックエンジニアリングによる制御を目的とするため、リンク上のトラヒック量を可能な限り正確に推定する必要がある。そのため大きな推定誤差を回避するような収集ノードの選択を行う必要がある。提案手法では、収集ノードの個数が目標値となるまで以下の動作により収集ノードを選択することで、少ないノードから収集した情報からより多くの対地間トラヒックに関する情報を収集する。

- Step. 1.1 全ノードを収集ノードの選択候補とする
- Step. 1.2 他の選択候補のノードも経由している対地間トラヒックしか経由しないノードのうち経由する対地間トラヒック数が最も小さいノードを選択候補から除外する。
- Step. 1.3 選択候補の数が収集ノードの目標値に達した場合は残りの選択候補のノードを選択して動作を終了する。
- Step. 1.4 他の選択候補のノードも経由している対地間トラヒックしか経由していない選択候補のノードがある場合は Step. 1.2 に戻る、それ以外の場合は Step. 1.5 へ。
- Step. 1.5 収集ノードの個数が目標値になるまで、選択候補の中からすでに選択されている収集ノードを経由しない対地間トラヒックの数が一番多いノードを選択する。

### 2.2 収集されていないトラヒック量の推定

選択した収集ノードを経由していない対地間トラヒックが存在した場合は、その対地間トラヒック量の推定に利用できる情報がなく、トラヒックマトリクスの推定に大きな誤差を生じさ

せる可能性がある。そこで、提案手法では選択された収集ノードに接続されていないリンク上のトラヒック量を以下の式で推定することにより、トラヒックマトリクス推定に用いる情報の不足を解消する。この式は各リンクを経由するトラヒック量とそのリンクを経由する対地間トラヒックの本数の関係を表したものである。

$$U_j = \alpha Z_j + \beta. \quad (1)$$

$U_j$  はリンク  $j$  における推定されたリンクのトラヒック量、 $Z_j$  はそのリンクを経由している対地間トラヒックの本数である。式 (1) を用いて推定する際には収集したリンク上のトラヒック量とそのリンクを経由している対地間トラヒックの本数から最小二乗法を用いて求めた  $\alpha$  および  $\beta$  を用いる。

### 2.3 全リンクのトラヒック量の推定

収集されたリンク上のトラヒック量と式 (1) を用いて推定されたリンク上のトラヒック量の両方を用いてトラヒックマトリクスを推定をする。ここで、式 (1) で推定されたトラヒック量を元に各リンクのトラヒック量のおおまかな推定値を表す行列  $X'$  を以下のように定義する。

$$X' = \begin{bmatrix} X'_1 \\ \vdots \\ X'_L \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし、 $X'_l$  は以下で定義される。

$$X'_l = \begin{cases} X_l & (l \text{ が収集しているリンクの場合}) \\ U_l & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (3)$$

$X_l$  はリンク  $l$  を流れるトラヒック量、 $U_l$  は式 (1) を用いて推定されたリンク  $l$  のトラヒック量である。また、観測リンクと観測リンクを経由する対地間トラヒックの対応を表す行列  $A$  を以下のように定義する。

$$A = \begin{bmatrix} A_{1,1,1} & A_{1,2,1} & \cdots & A_{N,N,1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{1,1,L} & A_{1,2,L} & \cdots & A_{N,N,L} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$A_{i,j,l}$  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ヒックがリンク  $l$  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。 $X'$ 、 $A$  を用いて以下の式を満たすように、トラヒックマトリクス  $\hat{T}$  を推定する。

$$\min \|X' - A\hat{T}\| \quad (5)$$

## 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 リンクのトポロジを用いた。また、全ノードからトラヒックの流入、流出があるものとする。

本評価では、文献 [2] に従い、トラヒックマトリクスの各要素の分布は対数正規分布に従うようにトラヒックマトリクスを生成する。

$$T = T^{init} + \Delta \quad (6)$$

$T^{init}$  は要素の分布が対数正規分布に従うトラヒックマトリクス、

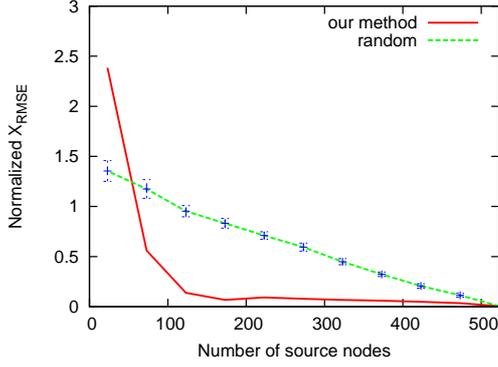


図1 リンク上のトラフィック量の誤差

$\Delta$  はモデルとの誤差を表わす行列である。また、式 (1) の関係式との誤差が大きくなる場合を評価するために、 $T^{init}$  の要素は文献 [2] の Abilene ネットワークでの観測結果よりも対地間トラフィックの分散がさらに大きい環境になるように、 $\mu = 16.6$   $\sigma = 2.08$  の対数正規分布に従った乱数として与えた。 $\Delta$  の値は平均 0、分散 1 の正規乱数を用いて与える。

### 3.2 評価指標

本評価では、推定されたリンク上のトラフィック量がネットワーク上の輻輳状態を反映したものであるかを評価するために、推定されたトラフィックマトリクスから計算されたリンク上のトラフィック量と実際のリンク上のトラフィック量の誤差を用いて評価する。推定されたトラフィックマトリクスから計算したリンク上のトラフィック量は以下の式であらわされる。

$$\hat{X} = A\hat{T} \quad (7)$$

また、誤差の評価には以下のリンク上のトラフィック量の平方平均二乗誤差 (RMSE) をトラフィック量の平均で正規化したものを用いる。リンク上のトラフィック量の RMSE を  $X_{RMSE}$  とおくと、 $X_{RMSE}$  は以下で定義される。

$$X_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \left( \frac{\hat{X}_k - X_k}{X_k} \right)^2} \quad (8)$$

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  $k$  のトラフィック量、 $X_k$  は実際のリンク  $k$  のリンクのトラフィック量をあらわす。

### 3.3 評価結果

図 1 に評価結果を示す。図 1 の縦軸はリンクのトラフィック量の RMSE をリンクのトラフィック量の平均で正規化した値であり、横軸は選択した収集ノード数である。また、“our method” は提案手法によってノードの選択を行った場合であり、“random” はランダムに収集ノードを選択した場合である。図 1 より、提案手法によって収集ノードを選択することにより、収集ノード数が 123 の場合であっても、全リンクを流れるトラフィック量を正確に把握することができることが分かる。それに対して、ランダムに収集ノードを選択した場合には収集ノードの数を減らすと誤差が著しく大きくなってしまふことが分かる。提案手法では可能な限り多くの対地間トラフィックの情報を含むように収集ノードを選択している。そのため、収集ノードの数を減らした場合でも別の収集ノードから収集されるリンク上のトラフィック量から対地間トラフィックの推定がされているため、リンクのトラフィック量を少ない誤差で推定が可能であると考えられる。それに対して、ランダムに収集ノードを選択した場合には、推

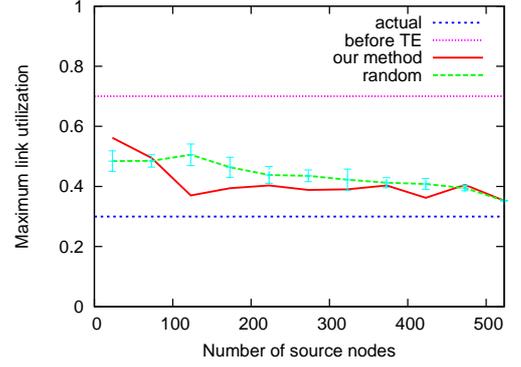


図2 トラフィックエンジニアリング後の最大リンク利用率

定に必要な情報をどの収集ノードからも得られないような対地間トラフィックが存在してしまい、そのような対地間トラフィックに生じる推定誤差によってリンクのトラフィック量の推定誤差が大きくなる。

また、推定されたトラフィック量を用いて文献 [3] のトラフィックエンジニアリング手法を行った。本シミュレーションではトラフィックエンジニアリングによる最大リンク使用率の目標値を 0.3 とした。図 2 は評価結果であり、縦軸は最大リンク使用率をあらわしており、横軸は選択した収集ノード数である。また、“before TE” はトラフィックエンジニアリング前のリンク使用率、“our method” は提案手法によってノードの選択を行った場合のリンク使用率、“random” はランダムに収集ノードを選択した場合のリンク使用率、“actual” は真値のトラフィックマトリクスを入力として用いた場合の評価結果である。図 2 より、提案手法によって一部のノードから収集したトラフィック情報を用いてもトラフィックエンジニアリング前よりリンク使用率を著しく削減できることが分かった。

## 4. おわりに

本稿では、一部の収集ノードを選択し、選択された収集ノードから収集されたトラフィック情報から、トラフィックマトリクス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、提案手法で収集ノードを選択することにより、3 割のノードからリンクのトラフィック量を収集し、トラフィックエンジニアリングを行うことでリンク使用率を著しく削減できることを明らかにした。

本稿では、トラフィックマトリクスの推定に式 (5) を用いた単純なトラフィックマトリクス推定手法を用いている。今後は、一部のノードから収集したトラフィック情報からトラフィックマトリクスを推定するのに適した推定手法を検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究 (B)22300023 によっている。ここに記して謝意を表す。

### 文 献

- [1] Y. Ohsita, T. Miyamura, S. Arakawa, S. Ata, E. Oki, K. Shiimoto, and M. Murata, “Gradually reconfiguring virtual network topologies based on estimated traffic matrices,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 18, pp. 177–189, Feb. 2010.
- [2] A. Nucci, A. Sridharan, and N. Taft, “The problem of synthetically generating IP traffic matrices: Initial recommendations,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 35, pp. 19–32, July 2005.
- [3] A. Gencata and B. Mukherjee, “Virtual-topology adaptation for WDM mesh networks under dynamic traffic,” *IEEE/ACM Transactions on networking*, vol. 11, pp. 236–247, Oct. 2003.