

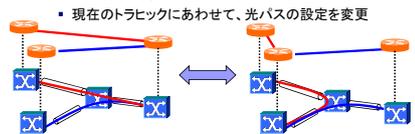
## トラヒックの長期変動から現在のトラヒックマトリクスを推定する手法

大下 裕一  
大阪大学 大学院経済学研究科

フォトニックネットワーク研究会 1

## トラヒックエンジニアリング (TE)

- 現在のトラヒックに合致するようにネットワークの構成やルーティングを変更する
  - 例: Optical layer Traffic Engineering (TE)
    - 想定している環境:
      - 物理ネットワーク上に光バスを構築
      - 光バスで構成されるネットワークがIPネットワークに論理トポロジを提供
    - 動作:
      - 論理トポロジの再構成
        - 現在のトラヒックにあわせて、光バスの設定を変更



2

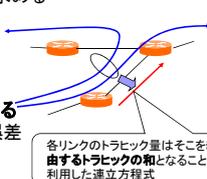
## トラヒックエンジニアリングの入力

- 各対地間のトラヒック需要(トラヒックマトリクス)
  - 直接観測することは難しい
    - フルメッシュにPacket LSPを構築する必要があり、大規模ネットワークでは適用困難
  - 直接観測可能なリンク使用率から推定
    - 大規模ネットワークであっても適用可能

フォトニックネットワーク研究会 3

## トラヒックマトリクスの推定

- 一般的なトラヒックマトリクス推定手法:
  - 各リンクのトラヒック量を元以下の連立方程式をたて、その条件にあうトラヒックマトリクスを求める
 
$$X = AT$$
    - X: 各リンクのトラヒック量
    - A: ルーティングを表す行列
    - T: トラヒックマトリクス
  - **トラヒックマトリクス推定に用いている連立方程式の数が少ないために誤差が生じる**
    - **推定誤差がTEの性能に著しい影響を与える**



4

## 推定誤差の削減

- ネットワークを段階的に再構成しつつ、トラヒックマトリクスの推定精度を向上する手法<sup>[4]</sup>
  - 各時刻で観測したリンク使用率の情報を、推定する際の連立方程式として追加

$$\begin{bmatrix} X(n-M+1) \\ \vdots \\ X(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(n-M+1) \\ \vdots \\ A(n) \end{bmatrix} T$$

X(n) : 時刻nのリンク使用率  
A(n) : 時刻nのルーティング

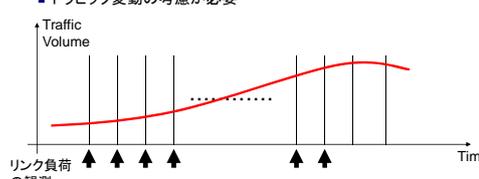
- 推定に用いる条件が増え、推定精度を向上させることが可能

[4] Y Ohsita, T Miyamura, S Arakawa, E Oki, S Shimoto and M Murata, "Gradually Reconfiguring Virtual Network Topologies based on Estimated Traffic Matrices," in Proc. INFOCOM 2007, May 2007

フォトニックネットワーク研究会 5

## トラヒック変動の考慮の必要性

- 十分な観測を得るまでに時間が経過する場合
  - 観測している間にトラヒックが変動してしまう
    - トラヒック変動の考慮が必要



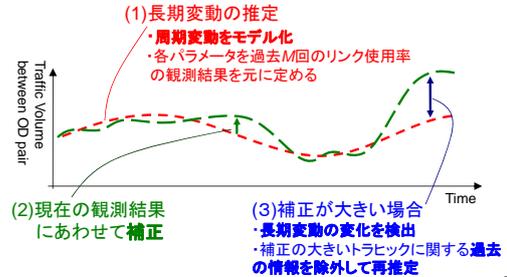
リンク負荷の観測

フォトニックネットワーク研究会 6

## 本研究の目的

- TEの入力として必要な現在のトラヒックマトリクスを正確に推定する手法の構築
  - トラヒックエンジニアリングの経路変更によって生じた追加情報をを用いることによって、推定精度を向上
  - 追加情報を用いる際に、**トラヒックの変動を考慮**にいれる

## 提案する推定手法の流れ



## 長期変動の推定 ~トラヒックのモデル化~

- トラヒックの長期変動を周期関数でモデル化する
  - トラヒックが周期変動している[5]ことを利用
  - 周期関数をフーリエ級数展開を利用し、sin、cosの和であらわす

$$f_{i,j}(n) = \sum_{h=0}^{N_f} \alpha_{h,i,j} \cos\left(\frac{2\pi n h}{N_{\text{cycle}}}\right) + \sum_{h=0}^{N_f} \alpha_{h+N_f,i,j} \sin\left(\frac{2\pi n h}{N_{\text{cycle}}}\right)$$

時刻nのノードi-j間のトラヒック

周期

- 長期変動の推定は、 $\alpha_{h,i,j}$ を推定することにより行う

[5] A. Soule, A. Nucci, R. Cruz, E. Leonard, and N. Taft, "Estimating dynamic traffic matrices by using viable routing changes," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 13, pp. 485-498, June 2007.

## 長期変動の推定方法

- 過去の観測結果と合致するように長期変動のパラメータを定める
  - トラヒックエンジニアリングによって経路が定期的に変更されている環境を想定している
  - トラヒックエンジニアリングの経路変更によって生じた情報を、推定に用いることが可能

$$\text{minimize} \sum_{k=n-M+1}^n |X(k) - A(k)\hat{T}^{\text{est}}(k)|^2$$

ただし  $\hat{T}^{\text{est}}(k) = \begin{bmatrix} f_{0,0}(k) \\ \vdots \\ f_{i,j}(k) \\ \vdots \\ f_{N,N}(k) \end{bmatrix}$  周期変動の関数

## 現在のトラヒックに合致するように補正

- 以下の条件に合致するように長期変動に補正を加え、現在のトラヒックマトリクス  $\hat{T}(n)$  を得る

$$\text{minimize} |\hat{T}(n) - \hat{T}^{\text{est}}(n)|^2$$

制約条件

推定された長期変動

$$A(n)\hat{T}(n) = X(n).$$

現在のリンク負荷と合致するように補正

## トラヒック変動傾向の変化への対応

- トラヒックの変動傾向が急変した場合
  - 急変前の観測結果を推定に用いると、長期変動の推定に悪影響を与える
  - **急変した対地間トラヒックに関する過去の情報を除去**して長期変動の推定を行うべき
- 対処の手順
  1. トラヒックの急変の検出
  2. 急変した対地間トラヒックの過去の情報の除去
  3. 長期変動、現在のトラヒックマトリクスの再推定

## トラフィックの変動傾向の変化の検出

- 推定された長期変動と現在のトラフィックが合致しなくなると、**大きな補正**が加えられる
  - 過去と比べて、大きな補正が加えられた場合にトラフィックの変動傾向が変化したと検出

以下の値が閾値を越えると変化を検出 (Smirnov-Grubbs検定)

$$d_{i,j} = \frac{|\hat{T}_{i,j}^{est}(n) - \hat{t}_{i,j}(n)| - \mu_{i,j}}{\sigma_{i,j}}$$

推定された長期変動:  $\hat{T}_{i,j}^{est}(n)$   
 補正後のトラフィック:  $\hat{t}_{i,j}(n)$   
 過去の補正の大きさの平均:  $\mu_{i,j}$   
 過去の補正の大きさの標準偏差:  $\sigma_{i,j}$

フォトニックネットワーク研究会 13

## 急変した対地間トラフィックの過去の情報の除去

- 急激に変動した対地間トラフィックのルーティング行列からの除去
  - 検出された対地間トラフィックに対応する要素を0とする

$$A(i) \rightarrow A'(i)$$

検出されたトラフィックに対応する要素を0とする

- 急激に変動した対地間トラフィックのリンク使用率からの除去
  - 検出された対地間トラフィック分のトラフィック量をリンク使用率から削除

$$X'(i) = X(i) - (A(i) - A'(i)) \hat{T}^{est}(i)$$

急激に変動した対地間トラフィックの過去の推定結果を各リンクにマッピング

14

## 再推定

### 長期変動の再推定

- 急変した対地間に関する情報の除去後の観測結果を用いて推定

$$\text{minimize } \sum_{k=n-M+1}^{n-1} |X'(k) - A'(k) \hat{T}^{est}(k)|^2 + |X(n) - A(n) \hat{T}^{est}(n)|^2$$

### 現在のトラフィックの補正

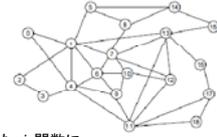
- 急変した対地間がない場合と同様の手順で補正

フォトニックネットワーク研究会 15

## 性能評価

### 性能評価の環境

- トポロジ
  - EONのバックボーントポロジ
- トラフィックデマンド:
  - 振幅・位相をランダムに設定したsin関数に、振幅の0.25倍以下のトラフィック変動を加え、
  - 3本の対地間トラフィックに急激な増加を加える
- 用いるTEの手法:
  - Optical layer TE
    - 閾値を越えるリンク使用率のリンクが存在する:
      - そのリンクを経由する対地間トラフィックのうち、トラフィック量が最大の対地間に光パスを追加
    - 閾値を越えるリンクが存在しない
      - もっともリンク使用率の低いリンクを削除
  - TEを行う間隔: 1時間に一回

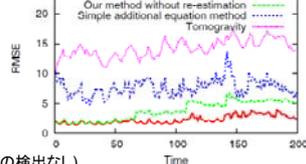


フォトニックネットワーク研究会 16

## [評価結果] 推定精度

### 比較対象

- Tomogravity法
  - 各時刻のリンク負荷のみを用いた従来手法
- Additional Equation法
  - トラフィック変動を考慮にいれず、過去の観測結果をもちいる手法
- 提案手法 (トラフィックの急変の検出なし)
- 提案手法 (トラフィックの急変の検出あり)



■ 評価基準

$$(RMSE) = \frac{1}{\text{要素数}} \sqrt{\sum (\text{推定値} - \text{実際の値})^2}$$

### 評価結果

- 提案手法 (トラフィックの急変の検出あり) が最も正確に推定が可能
  - トラフィックの変動を考慮した上で、より多くの観測結果を推定に用いることができていたため

17

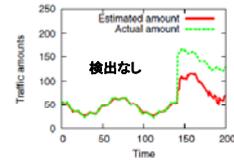
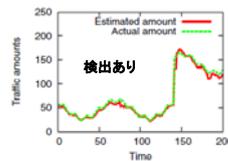
## [評価結果] 急変を含む対地間トラフィックの推定結果

### 比較対象

- 提案手法 (トラフィックの急変の検出なし)
- 提案手法 (トラフィックの急変の検出あり)

### 評価結果

- トラフィック変動の検出・対応を行うことにより、トラフィックの急変にも対応可能

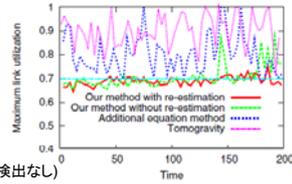


18

## [評価結果] 最大リンク使用率

### ■ 比較対象

- Tomogravity法
  - 各時刻のリンク負荷のみを用いた従来手法
- Additional Equation 法
  - トラヒック変動を考慮にいれず、過去の観測結果をもちいる手法
- 提案手法 (トラヒックの急変の検出なし)
- 提案手法 (トラヒックの急変の検出あり)



### ■ 評価基準

- TE直後の最大リンク使用率 (目標値=0.7)

### ■ 評価結果

- 提案手法(トラヒックの急変の検出あり)では目標値付近まで最大リンク使用率を削減可能
  - トラヒックマトリクスを正確に推定することができるため

19

## まとめ

### ■ まとめ

- トラヒックの長期変動を仮定しつつ、ルーティングの変更前後の観測結果を利用することで正確にトラヒックマトリクスを推定する手法を提案
  - 過去の多くの観測結果を元に、長期変動の推定
  - 推定された長期変動に補正を加え、現在のトラヒックマトリクスの推定
  - トラヒックの変動傾向が変化した場合には、変化を検出後、再推定
- 評価により、提案手法は、トラヒックマトリクスを正確に推定可能

フォトニックネットワーク研究会

20