

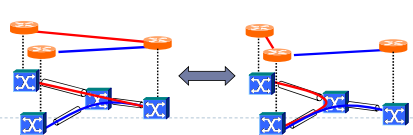
トラフィックマトリックスの取りうる範囲を考慮した  
マルチレイヤトラフィックエンジニアリング

大阪大学 大下 裕一

1

背景  
トラフィックエンジニアリング (TE)

- ▶ 現在のトラフィ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
  - ▶ Multi 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
      - 現在のトラフィックにあわせて、光バスの設定を変更



▶ 2

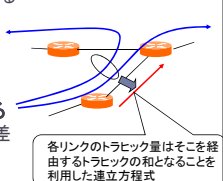
背景  
トラフィックエンジニアリングの入力

- ▶ 各対地間のトラフィック需要(トラフィックマトリクス)
  - ▶ 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

▶ 3

背景  
トラフィックマトリックスの推定

- ▶ 一般的なトラフィックマトリクス推定手法:
  - ▶ 各リンクのトラフィック量を元に以下の連立方程式をたて、その条件にあうトラフィックマトリクスを求める
 
$$X = AT$$
    - ▶ X:各リンクのトラフィック量
    - ▶ A: ルーティングを表す行列
    - ▶ T:トラフィックマトリクス
  - ▶ **トラフィ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**



▶ 4

背景  
推定誤差の影響を低減する方法

- ▶ TEと連携して推定精度を向上させる
  - ▶ TEでの経路変更をトラフィックマトリクス推定にフィードバック
    - ▶ 精度が向上するまでは、推定誤差の影響を受ける
  - ▶ トラフィックマトリクスの取りうる範囲を考慮して経路設計を行う
    - ▶ 取りうる範囲が広すぎると、考慮する範囲が大きくなり、適切なTEを行うことができない

▶ 5

研究の目的と方法

- ▶ 目的:
  - ▶ トラフィックの取りうる範囲を考慮しつつ、目標達成可能なTE手法
    - ▶ トラフィックマトリクスの推定誤差の影響は受けない
      - ▶ トラフィックの取りうる範囲を考慮を取り入れたマルチレイヤTE
    - ▶ トラフィックマトリクスの取りうる範囲が広い場合でも、適切な観測を行うことにより、範囲を適切に削減
      - ▶ マルチレイヤTEを考慮した観測

▶ 6

### 手法の概要

- ▶ **マルチレイヤTE**
  - ▶ 観測されたリンク使用率から定まるトラフィックマトリクスの取りうる範囲すべてを考慮して、論理トポロジ・経路を設計
- ▶ **観測結果の追加**
  - ▶ マルチレイヤTEを考慮した上で、TEに影響を与え、かつ、条件が不足している対地間トラフィックの観測結果を追加

7

### 範囲を考慮に入れたマルチレイヤTE手法 マルチレイヤTEの基本的アイデア

- ▶ **トラフィックマトリクスの取りうる範囲**
  - ▶ 以下の方程式が成り立つ範囲
    - ▶  $X = AT$ 
      - ▶ X: 各リンクのトラフィック量
      - ▶ A: ルーティングを表す行列
      - ▶ T: トラフィックマトリクス
    - ▶  $T \geq 0$
  - ▶ 取りうるトラフィックマトリクスの要素は0以上
- ▶ **TEの方針**
  - ▶ 取りうるトラフィックマトリクスの範囲内において、リンク使用率の最悪値の最小化
  - ▶ MILPとして定式化

8

### 範囲を考慮に入れたマルチレイヤTE手法 マルチレイヤTEの定式化

- ▶ **リンク使用率が閾値TH以上であれば**
  - ▶ 目的関数: リンク使用率の最悪値の最小化
    - ▶ minimize M
  - ▶ 制約条件
    - ▶ 構築される光パスがすべて収容可能
    - ▶ 追加される光パスはN本以下
    - ▶ 取りうるすべてのトラフィックマトリクスのついてリンク使用率の最大がM以下
- ▶ **リンク使用率が閾値TH未満であれば**
  - ▶ 目的関数: 使用波長数の最小化
  - ▶ 制約条件
    - ▶ 構築される光パスがすべて収容可能
    - ▶ 取りうるすべてのトラフィックマトリクスのついてリンク使用率の最大がTH以下

9

### マルチレイヤTEのためのトラフィックの観測 観測結果の追加

- ▶ TE後のリンク使用率を閾値以下にできない場合には、TEに影響を与えるトラフィックの観測結果を追加する
- ▶ **観測結果の追加の方法**
  - ▶ 一部の対地間トラフィックをサンプリングにより計測
  - ▶ 経路変更をしてみて、経路変更前後のリンク使用率の変化を調べる
    - ▶ TEに影響がある対地間トラフィックを選択し、選択したトラフィックの観測が行えるように経路変更する
- ▶ TEへ与える影響が大きいトラフィックを観測対象として選択することが重要

10

### マルチレイヤTEのためのトラフィックの観測 観測対象の選択方法

- ▶ **観測対象選択の基本的指針**
  - ▶ 情報不十分な箇所を観測
  - ▶ TEへの影響が大きい箇所
- ▶ **選択手法**
  - ▶ 手法1
    - ▶ 情報が不十分な箇所を観測
  - ▶ 手法2
    - ▶ TE後にリンク使用率の最悪値が最大となる箇所を観測
  - ▶ 手法3
    - ▶ TE後の経路変更まで考慮して、影響の大きい箇所を観測

11

### マルチレイヤTEのためのトラフィックの観測 手法1

- ▶ **基本的アイデア**
  - ▶ 現在の観測結果を元に計算した、取りうる範囲が広い対地間トラフィックほど情報が不足している
- ▶ **手順**
  - ▶ 各対地間トラフィックについて
    - ▶ 線形計画問題を解き、取りうる値の最大・最小を求める
      - ▶ 制約条件:  $X=AT, T>0$
    - ▶ 最大-最小が最も大きい対地間トラフィックを観測対象とする

12

マルチレイヤTEのためのトラヒックの観測

手法2

基本的アイデア

- TE後のリンク使用率が最大となる箇所を経由するトラヒックがTEの性能に影響を与える
  - リンク使用率の最悪値なら、論理トポジ・経路を変更した時点で、計算可能

手順

- 現在の観測結果から、論理トポジ・経路を設計
- 設計後のリンク使用率の最悪値が最大となるリンクを経由している対地間トラヒックを抜き出す
- 抜き出された対地間トラヒックに対して、手法1を適用し、最も取りうる範囲が大きい箇所を選択する



▶ 13

マルチレイヤTEのためのトラヒックの観測

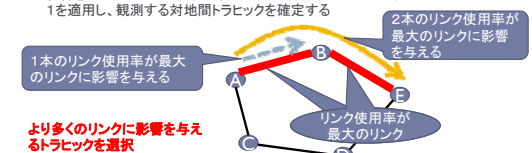
手法3

基本的アイデア

- TE後のリンク使用率が最大となるリンクが複数ある場合は、同時に複数のリンクの使用率に影響を与える対地間トラヒックが観測の効果が大きい

手順

- TE後の論理トポジ・経路を計算
- 各対地間トラヒックについて、トラヒック量が正確に把握できた場合に、影響を与えるリンクの集合を求める
- 影響を与えるリンクの本数が最も大きい対地間トラヒックの集合に対して、手法1を適用し、観測する対地間トラヒックを確定する



▶ 14

評価

評価環境

物理トポジ:

- Abilenetトポジ(11ノード、14リンク)

初期トラヒック:

- 対数正規分布にしたがって生成

初期論理トポジ:

- 初期トラヒックに合わせて、光パス数を最小化したものを用いる

TEの際のトラヒック

- Case 1: 対数正規分布に従ってランダムに組み替える
- Case 2: ランダムに選択した3本の対地間トラヒックを増加
- Case 3: ランダムに選択したノード宛の対地間トラヒックのうち3本を増加

▶ 15

評価

評価方法

観測対象の対地間トラヒック選択の有効性を評価

- どの対地間トラヒックを選択手法がもっとも有効なのか

- 以下の観測結果を入力としてリンク使用率の最悪値を最小化

- すべての論理リンクのリンク使用率
- 手法1~3で選択された対地間トラヒックの観測結果
  - 選択された対地間トラヒックは正確に観測可能であると仮定

- TE後のリンク使用率の最悪値を比較

▶ 16

評価

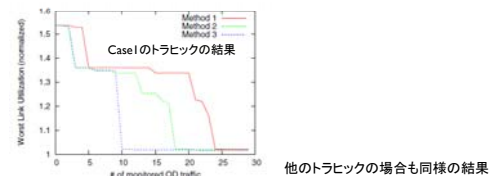
評価結果

- 観測箇所を追加するにつれ、リンク使用率の最悪値は著しく削減可能

- 観測箇所を追加することは、範囲を考慮したマルチレイヤTEにとって有効

選択手法3が最もリンク使用率を削減可能

- 選択手法1ではTEに影響を与えない対地間トラヒックを選択してしまう
- 選択手法3では、多くのリンクに影響を与える対地間トラヒックを選択するため、選択手法2よりも少ない箇所の観測でリンク使用率を削減可能



▶ 17

まとめ

- マルチレイヤTEに必要なトラヒックマトリクスを直接観測することは難しい



- 現在観測されたリンク使用率等から求まるトラヒックマトリクスの取りうる範囲を考慮してTEを行う

- トラヒックマトリクスの取りうる範囲を十分に削減するために観測結果を追加する

- TEを考慮して追加する観測対象を選択することにより、より効果的な観測が可能

▶ 18

## 今後の課題

- ▶ **大規模ネットワークへの対応**
  - ▶ MILPを用いたTEでは、計算時間が大きくなってしまふ
  - ▶ 発見的手法を構築する必要がある
- ▶ **TEとトラヒックの観測がより連携した手法**
  - ▶ TEに影響を与える対地間トラヒックのトラヒック量が把握されるような経路変更を行いつつ、適切にTEを行う手法
- ▶ **サンプリングによるトラヒック観測への応用**
  - ▶ トラヒックエンジニアリングを考慮したサンプリングレートの設定手法