

機関番号： 14401
 研究種目： 若手研究 (B)
 研究期間： 2009～2010
 課題番号： 21700074
 研究課題名(和文) 大規模ネットワークのための観測を考慮したトラフィックエンジニアリング技術の開発
 研究課題名(英文) Traffic engineering considering overhead for monitoring traffic for large-scale networks
 研究代表者
 大下 裕一 (Ohsita Yuichi)
 大阪大学・大学院経済学研究科・助教
 研究者番号： 80432425

研究成果の概要 (和文):

本研究では、ネットワークの全機器からのトラフィック情報を頻繁に行うことなく、トラフィックエンジニアリングを行うことを目標とし、(1)一部のネットワーク機器の情報から収集を行わなかった地点のトラフィック情報を推定する手法、(2)ネットワークを地理的に分割・階層化を行い、分割した範囲内に経路制御を行うサーバを配置、サーバ間で集約したトラフィック情報を交換しつつ、経路制御を行うことにより、特定のサーバがネットワーク全体のトラフィック情報を収集することなく、トラフィックエンジニアリングを行う手法を確立した。

研究成果の概要 (英文):

The goal of this research is to perform the traffic engineering without collecting the traffic information from all nodes in a network. To achieve this goal, we propose two methods. First method is a method to estimate the traffic volumes on links in the whole network from the information collected from a subset of nodes. The other method is a method to perform the traffic engineering within ranges that is hierarchically divided; the ranges of the lowest layer are constructed of a small number of nodes and the ranges of the upper layer are constructed from the multiple ranges of the lower layer. In this method, by exchanging the aggregated traffic information, each server reconfigures the routes within the range without collecting the traffic information of all links in the network.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：トラフィックエンジニアリング・リンク使用率・観測

1. 研究開始当初の背景

近年、Peer-to-Peer や Video-on-Demand 等の様々なアプリケーションが普及し、トラフィックの時間変化が大きくなっている。そのようなトラフィックを適切に収容するためには、各時刻のトラフィックに合わせてネットワークの構成を変更する手法が必要となる。各時刻のトラフィックに合わせてネットワークの構成を変更する手法は、トラフィックエンジニ

アリング(TE)と呼ばれ、様々な研究が行われている。既存の TE では、対地間のトラフィック量をあらわすトラフィックマトリクスを入力として用いることにより、そのトラフィックに適した論理トポロジや経路の設計を行う。しかしながら、スケーラビリティの問題や、観測機器・ネットワークに負荷をかけてしまうといった問題があるため、トラフィックマトリクスの直接計測を大規模ネットワークで

頻繁に行うことは困難である。より観測が容易な各リンクを流れるトラフィック量からトラフィックマトリクスを推定する手法に関する研究も進められているが、推定されたトラフィックマトリクスには推定誤差が含まれてしまうため、適切に TE を行うことができない可能性がある。推定誤差の影響を避けるため、入力された情報を元に、実際のトラフィックマトリクスが取りうる範囲を計算し、その範囲内のすべてのトラフィックマトリクスを考慮して経路設計を行う手法の検討も進められている。しかしながら、トラフィックマトリクスの取りうる範囲を考慮した手法は、比較的小規模なネットワークにおける経路設計のみを扱ったものであり、大規模ネットワークでは、適切な経路を設計するのに時間がかかってしまう。また、トラフィックマトリクス推定を用いた場合、トラフィックマトリクスの取りうる範囲を計算する手法、いずれにおいても、ネットワーク内の全リンク上を流れるトラフィック量に関する情報が必要となり、依然として、ネットワーク内の全機器からの取得が必要となるため、大規模ネットワークで頻繁に取得することは困難である。

2. 研究の目的

トラフィックの時間変動が多い環境において、輻輳を生じることなく、ネットワーク内の全トラフィックを收容するためには、トラフィック変動に応じて、動的に経路等のネットワーク構成を変更させるトラフィックエンジニアリングが有効である。トラフィックエンジニアリングを行うには、ネットワーク内の経路を管理するサーバで、ネットワーク全体のトラフィック情報を把握する必要がある。しかしながら、大規模ネットワークにおいては、単一のサーバでネットワーク全体のトラフィック情報を頻繁に収集することは困難であり、トラフィック変動が発生後、瞬時にトラフィック変動を検出し、現在のトラフィックに合致した経路を構成することは困難である。そこで、本研究では、推定技術や階層化を利用することにより、大規模ネットワークにおいても、瞬時に適切な経路に移行することができる手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究の目標を達成するために、以下の二つ観点からの手法の開発を行った。

- (1) 一部で観測されたトラフィック情報のみからトラフィックエンジニアリングに必要な情報を推定する手法
- (2) ネットワークを階層的に分割して制御することにより、各サーバが制御に必要な情報・計算時間を削減する手法

4. 研究成果

- (1) 一部のトラフィック情報からネットワーク全体のトラフィック情報を推定する手法

手法の概要

提案手法では、一部の選択されたノードから取得できる情報のみから、ネットワーク内の全リンク上のトラフィック量を推定する。これにより、トラフィックエンジニアリングを行うのに必要な情報収集量を削減することができる。

提案手法は、以下の手順で動作する。

手順 1) トラフィック情報の収集元となるノードを選択する。提案手法では、選択したノードから収集できるリンクを経由する対地間トラフィックがなるべく重複しないようなノード選択を行うことにより、少ないノードから、より多くの対地間トラフィックに関係するトラフィック情報を得る。提案手法では、まず、全ノードを情報収集元の候補とする。そして、候補となる各ノードについて、自身以外の候補ノードを経由していないトラフィックの本数を計算し、その値が小さいノードから候補から除外していく。最終的に目標となる情報収集元ノード数と候補数が等しくなった時点で、トラフィック情報収集元のノードを確定する。

手順 2) トラフィック情報を収集していないリンク上のトラフィック量をおおまかに推定する。本研究では、推定を行う際には、各リンクを流れるトラフィック量と、そのリンクを経由する対地間トラフィックの本数の間の関係が、一次関数で近似できるものとする。つまり、リンク l 上のトラフィック量は、リンク l を経由するトラフィックの本数 W_l を用いて、以下のように推定される。

$$\alpha W_l + \beta$$

上記の式のうち、 α 、 β は、選択された情報収集元ノードから収集されたトラフィック情報を元に、最小二乗法で定めるものとする。

手順 3) 手順 2 で推定されたリンク上のトラフィック量を元にトラフィックマトリクスを推定する。トラフィックマトリクスの推定を行う際には、本研究では、以下の式を最小化する \hat{T} を推定値とする。

$$|\hat{X} - A\hat{T}|$$

ただし、 \hat{X} は手順 2 で推定された各リンク上のトラフィック量、 A はルーティングを表す行列である。

手順 4) 手順 3 で推定されたトラフィックマトリクスから、再度、リンク上のトラフィック量を推定する。推定を行う際には、ルーティングを表す行列 A に手順 3 で推定された \hat{T} をかけることにより、リンク上のトラフィック量を得る。

手法の評価

本節では、提案手法の有効性をシミュレーションにより評価する。本評価では、AT&Tのルータレベルのトポロジを用い、各対地間のトラヒックの経路は、最短ホップで決まるものとした。また、トラヒックマトリクスは、対数正規分布、Gravityモデルの両方に従う乱数として生成した。この環境において、提案手法で最終的に推定されたリンク上のトラヒック量の推定誤差を評価する。リンク上のトラヒック量の推定誤差は、大きくなるとトラヒックエンジニアリングを行う際に、輻輳の発生地点を誤認識してしまい、適切な制御を行うことができなくなる可能性があるため、トラヒックエンジニアリングにとって重要な情報である。図1に結果を示す。図1は横軸が情報収集元として選択されたノード数、縦軸が平均二乗平方根誤差である。図中では、比較対象として、ランダムに情報収集元ノードを選択した場合の推定誤差についても示している。図より、提案手法を用いることにより、少ないノード数からの情報収集で、精度よく、各リンク上のトラヒック量を推定することができることが分かる。

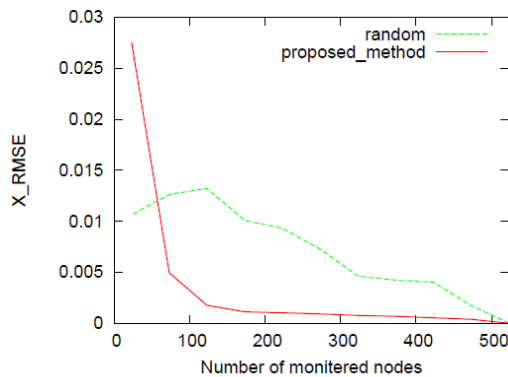


図1: 情報収集元ノード数とリンク情報のトラヒック量の推定誤差の関係

(2)階層型トラヒックエンジニアリング 手法の概要

提案手法では、ネットワークを地理的に分割した範囲を階層的に構築する。提案手法における階層化の概要を図2に示す。図2に示すように、最下位層では、ノードを境界とし、全リンクがいずれかの範囲に含まれるように、ネットワークを地理的に複数の範囲に分割する。範囲の境界に位置するノードを以降、境界ノードと呼ぶ。最下位層の範囲に対して、対応する経路制御サーバを設置する。最下位層の各経路制御サーバは、定期的に自身の制御対象の範囲内に存在するノードに問い合わせを行い、制御対象の範囲内の全リンクのトラヒック状況を把握する。上位層の範囲は、下位層の範囲を複数束ねて

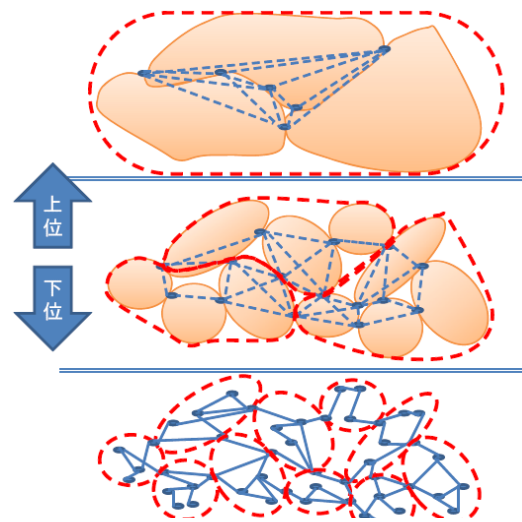


図2: トラヒックエンジニアリングの階層化の概要

一つの範囲とすることで構成され、最下位層と同様、各範囲に対応する経路制御サーバを配置する。上位層の経路制御サーバでは、下位層では境界ノードとなっていたノードのみからなるトポロジを扱い、そのノード間の輻輳状態に関する集約情報を下位層の経路制御サーバから受け取ることにより、境界ノード間の輻輳状態を把握する。

各経路制御サーバは、直接観測した情報や下位層から取得した集約された情報をもとに、自身の制御対象の範囲内で、輻輳等の問題の有無を検知する。そして、自身の制御対象の範囲内を経由しているトラヒックの制御対象の範囲内の経路や、制御対象の範囲内が起点または終点となるトラヒックの出入口となる境界ノードを変更することにより、検出された問題の解消を図る。

経路の移設を行う際には、各経路制御サーバは、自身の制御対象の範囲内のみではなく、自身の制御範囲内の境界ノードと、他の範囲の境界ノード間の輻輳状態に関する情報を上位層の経路制御サーバから取得する。他の範囲の境界ノードと自身の境界ノード間の輻輳状態を把握することにより、他の範囲で新たな輻輳を発生させることを回避させつつ、制御対象範囲内が起点または終点となるトラヒックの出入口となる境界ノードの変更を行うことができる。

提案手法では、各経路制御サーバが収集・交換するトラヒック情報は、局所的なものである。あるいは、集約されたもののみである。そのため、収集・交換が必要な情報量が少なく、頻繁な情報交換が可能であり、各経路制御サーバは、短いタイムスケールのトラヒック変動にも追従して、トラヒック状況を把握することができる。また、下位層の経路制御サーバでの経路変更は局所的であり、経路変更の影響を受ける範囲が小さいため、頻繁な経路変

更が可能である。そのため、提案手法では、下位層の制御周期を短くすることにより、輻輳等の問題に素早く対応することができる。

トラヒック情報集約と集約した情報を用いたトラヒックエンジニアリング手法
本節では、リンク使用率が閾値を超える状態を輻輳とし、輻輳を回避することをトラヒックエンジニアリングの目的とする。以降、この目的を達成するための、階層型トラヒックエンジニアリングにおける、トラヒック情報の集約手法、集約したトラヒック情報を用いて経路変更を行う手法について述べる。

上位層へ渡す情報：

提案手法では、各境界ノード間のトラヒックが経由するリンクのうち、最もリンク使用率の高いリンクに関する情報を集約情報として、上位層の経路制御サーバに渡す。これにより、上位層の経路制御サーバは、集約情報のみから、各境界ノード間の輻輳の有無を把握することができる。

また、集約情報として各リンク1について、リンク1を経由するトラヒック総量のみではなく、リンク1を経由するノードペアの集合、リンク1を経由するトラヒックのうち、上位層で制御可能なトラヒック量の上限下限についても計算し、集約情報に含める。これらの情報を用いることにより、上位層では、リンク1を経由するトラヒックの特定、経路変更後のリンク1の負荷の最大値を求めることができる。

下位層へ渡す情報：

上位層から下位層には、情報送信先の経路制御サーバが制御を行う範囲内の各境界ノードと別の境界ノード間の輻輳状態に関する集約情報を、上位層へ渡す情報を生成する手順と同様の手順で生成して渡す。この情報を用いることにより、下位層の制御で、範囲内からのトラヒックの出入口となる境界ノードを変更した際にも、他の範囲で新たな輻輳を防ぐことができる。

集約情報を用いた経路変更方法：

提案手法では、輻輳発生を検出した後、輻輳箇所を経由している各トラヒックを移設することにより、輻輳の解消を試みる。

各トラヒックの移設先の経路は、経路制御サーバが把握しているトポロジ G とトラヒックの集約情報をもとに、以下の手順で確定する。

手順 1：トポロジ G 上で、最短ホップ経路で経路を定める。

手順 2：手順 1 で計算された経路上にある各リンクについて、リンク使用率の

取りうる上限を集約情報をトラヒックマトリクスに対する制約条件として扱った線形計画法を用いて計算する。

手順 3：リンク使用率の上限が閾値を超えるリンクが存在した場合、閾値を超えるリンクをトポロジ G から削除した上で、手順 1 へ戻る。リンク使用率の上限が閾値を超えるリンクが存在しない場合は、経路を確定する。

手法の評価

本節では、提案手法の有効性について評価する。本評価では US topology (46 ノード、70

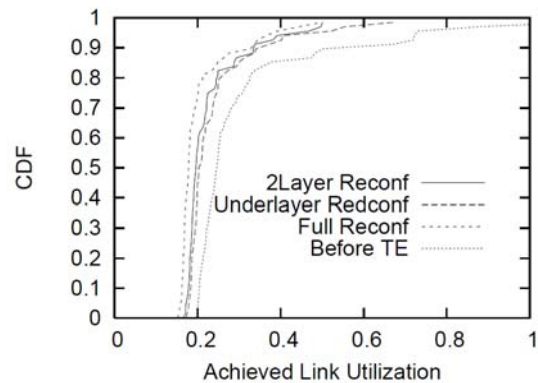


図 3：達成可能なリンク使用率

リンク)を6つの範囲に分け、提案手法により、各範囲内の制御と、ネットワーク全体の制御の2階層の制御を行った。経路制御前の経路は、対数正規分布に従って生成した対地間トラヒックが流れる環境において、リンク使用率を最小化するように設定した。その後、対地間トラヒック量を新たに対数正規分布に従う乱数として生成し、著しいトラヒック変動が発生した環境を生成した。この環境において、下位層の経路変更を1分間に1回、上位層の経路変更を13分に一回動作させた場合について、評価を行った。

まず、輻輳とみなすリンク使用率を変化させながら、30分以内の制御で達成可能なリンク使用率を評価した。本評価では、70種類のトラヒックを生成した。図3に結果を示す。図中には、2階層の制御を行った場合、下位層のみの制御を行った場合、ネットワーク全体の情報を用いて制御を行った場合に達成可能なリンク使用率と、経路変更前の最大リンク使用率の分布を示している。

図3より、多くの場合は、下位層のみの制御であっても、経路変更前と比べ、最大リンク使用率を著しく削減することができる。つまり、多くの場合は局所的な経路変更のみで、輻輳を解消することができる。また、図3より、下位層のTEのみでは、最大リンク使用率を十分に削減できない場合であっても、上位層の制御を加えることによ

り、ネットワーク全体の情報を用いた制御と同程度までリンク使用率を削減することができる。

次に、輻輳とみなすリンク使用率の閾値を 0.4 とし、経路変更前のリンク使用率が 0.4 を超えた場合について、リンク使用率を 0.4 以下まで削減するまでにかかる時間を調べた。図 4 に、リンク使用率を 0.4 以下にするまでにかかる時間の分布を示す。

また、図中では、上位層と同じく 13 分に 1 回の頻度で、ネットワーク全体の情報を用いた TE を行った場合に、リンク使用率を 0.4 以下にするまでにかかる時間の分布も示す。

図 4 より、8 割以上の箇所、ネットワーク全体の情報を用いた TE よりも早くリンク使用率を 0.4 以下まで削減することができる。これは、図 3 にも示されているように、多くの場合は、下位層の経路変更のみでも、十分にリンク使用率を削減することができるためである。つまり、階層型 TE を行うことにより、トラヒック変動が発生後、短い時間で輻輳を回避させることができる。

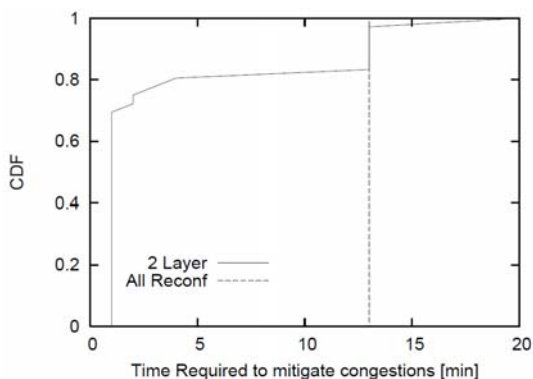


図 4：リンク使用率を 0.4 以下まで削減するのにかかる時間の分布

(3)まとめ

上記のように、本研究では、(1)ネットワーク内の一部のノードから収集した情報から、他の箇所のトラヒック量を推定する手法、(2)トラヒックエンジニアリングの制御を階層的に分割した各範囲内で行うことにより、局所的な範囲で取得した情報、あるいは、集約したトラヒック情報のみを用いてトラヒックエンジニアリングを行う手法を提案した。これらの手法を用いることにより、ネットワーク内の全ノードからトラヒック情報を収集しなくとも、輻輳等の問題を解消するようなトラヒックエンジニアリングを行うことができるようになり、トラヒック変動発生後、輻輳等の問題を解消するまでにかかる時間を著しく短縮することができる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 4 件)

大下裕一, 宮村崇, 荒川伸一, 塩本公平, 村田正幸 "大規模ネットワークのための階層型トラヒックエンジニアリング," 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会, KKR 鹿児島敬天閣, 2011 年 2 月 28 日.

Yuya Tarutani, Yuichi Ohsita, Shin'ichi Arakawa, and Masayuki Murata, "Estimation of Traffic Amounts on All Links by Using the Information From a Subset of Nodes," 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会, 日本女子大学, 2010 年 11 月 2 日.

Yuya Tarutani, Yuichi Ohsita, Shin'ichi Arakawa, and Masayuki Murata, "Estimation of Traffic Amounts on All Links by Using the Information From a Subset of Nodes," the Second International Conference on Emerging Network Intelligence, Hotel Novotel Firenze Nord Aeroporto, 2010 年 10 月 28 日.

樽谷優弥, 大下裕一, 荒川伸一, 村田正幸, "リンク使用率推定のための観測リンク選択手法," PN 研究会学生ワークショップ, 大濱信泉記念館, 2010 年 3 月 9 日.

6. 研究組織

(1)研究代表者

大下 裕一 (OHSITA YUICHI)
大阪大学・大学院経済学研究科・助教
研究者番号: 80432425

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし