

フローマイニングに基づくトラフィック変動に適応する 予測型トラフィックエンジニアリングの研究開発 (131303006)

Predictive traffic engineering to accommodate time-varying traffic based on flow mining

研究代表者

塩本 公平 日本電信電話 (株)
Kohei Shiomoto NTT Corporation

研究分担者

村田 正幸[†] 大下 裕一[†] 大歳 達也[†] 石橋 圭介^{††} 上山 憲昭^{††} 高橋 洋介^{††}
Masayuki Murata[†] Yuichi Ohsita[†] Tatsuya Otsoshi[†]
Keisuke Ishibashi^{††} Noriaki Kamiyama^{††} Yousuke Takahashi^{††}
[†]大阪大学 ^{††}日本電信電話 (株)
[†]Osaka University ^{††}NTT Corporation

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

概要

本研究開発では、学際的アプローチによる新たな通信トラフィック制御技術として、プラント制御で実績を上げてきた「モデル予測制御」をトラフィックエンジニアリングへ適用し、予測が困難なトラフィックに対してもロバストな予測型トラフィックエンジニアリング技術を確立する。経路制御、コンテンツ配置制御、仮想ネットワーク資源割当制御等のトラフィック制御に適用し、シミュレーションにより有効性を確認すると同時に、SDN/OpenFlowによる実機評価により Proof-of-concept を行った。

1. まえがき

近年、SDN(Software-Defined Networking)技術の発展に伴い、データセンタ間ネットワーク等への TE の適用が活発に研究されている(Google B4、SWAN 等)。しかしながら、ダイナミックに変動するトラフィック需要を正確に予測することは困難であり、また、予測したトラフィック変動に合わせて頻繁に経路を変更する従来の TE 方式では、ユーザの通信品質劣化が頻発するといった課題があった。

本研究では、経路変更に伴うユーザの通信品質劣化を抑えつつ、予測外れにもロバストな TE 技術を開発した。さらに開発した技術の有効性検証のために、実データを用いたシミュレーション評価を実施すると共に、実現可能性検証のために実機による Proof-of-concept (PoC) 環境を SDN 網として構築し、実機評価実験を実施した。

2. 研究開発内容及び成果

本研究では、トラフィック需要がダイナミックに変化する環境において、トラフィック需要の変動に追従しつつ、仮想マシンの配置、経路、仮想ネットワークへの資源割当てを含む必要な資源を安定的に割当ててを目的とし、**モデル予測制御**を適用することによって分単位のトラフィック変動にも追従可能な TE 技術の確立を目指した。

2. 1. モデル予測制御を応用した TE 技術

モデル予測制御は本研究課題の特徴となっている概念であり、プラント制御で実績のある手法である。モデル予測制御では、 h 期先予測に基づく最適計算とフィードバックによる予測の補正を繰り返すことにより、将来予測を踏まえた制御の安定性と予測誤差への耐性を両立する。モデル予測制御を応用したトラフィックエンジニアリング技術(MPC-TE)では、 h 期先までのトラフィック予測を踏まえ、 h 期先までの各時刻の経路設定を計算する(図 1)。その際、各時刻の性能指標(輻輳の有無を示す指標等)と、経路変更量の加重平均を最小化することにより、予測誤差により誤って急激な経路変更が行われることを防ぐ。MPC-TE では、最適化問題により得られた経路設定のう

ち、次の 1 期の経路設定のみ投入する。そして、1 期経過するごとに、新たなトラフィック観測結果を取得、予測を補正した上で、再度、 h 期先までの予測を踏まえた経路設定を計算する。MPC-TE では、このような将来の予測を踏まえた段階的な経路変更と、新たなトラフィック観測結果をもとにした予測の補正を繰り返すことにより、トラフィックの安定的な収容とトラフィック予測誤差への耐性の両立を実現する。

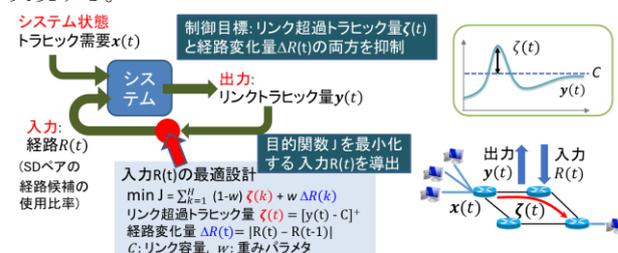


図 1 MPC-TE の概要

2. 2. マクロフロー生成技術

経路最適化を行う際に、発着エッジルーター間のトラフィックが制御対象となるが、このトラフィックをどの程度の粒度に分割するかが問題となる。本研究では、任意のヘッダ組み合わせによって定義される集約フローをマクロフローと呼び、経路制御の粒度に適したマクロフローを生成する技術を検討した。マクロフローに求められる要件として、「スケラビリティに関する要求条件」、「経路安定性に関する要求条件」、「予測困難性に関する要求条件」を挙げ、これらを満たすマクロフローを制御周期内(5分以内)で生成するヒューリスティックアルゴリズムを考案した。提案アルゴリズムによって、時系列トラフィック量変動の安定性の異なる二種類のマクロフローを生成する。

2. 3. マクロフローを制御単位とした MPC-TE 技術

MPC-TE とマクロフローの連携に際して、トラフィック特

性を利用する方法を考案した。具体的には、時系列変動の安定したマクロフローに対してはトラフィック予測を用いた MPC-TE を適用することで経路変更量を抑えながら効率的な経路制御を適用し、時系列変動の安定していないマクロフローに対しては、トラフィック予測を用いずにトラフィックを複数経路に分散させておく負荷分散ルーティングを適用することで、突発的なトラフィック変動が生じた場合にネットワーク輻輳が生じるリスクを低減する経路制御を実施する。トラフィック特性に応じて複数の制御ポリシーを使い分けることで、高精度な制御を実現する。

2. 4. 評価

上記で開発した技術の有効性評価および実現可能性検証のために、Internet2 の観測データと NW 構成情報を用いて、シミュレーション評価と SDN/OpenFlow を用いた実機による PoC を構築した (図 2)。

シミュレーション評価により、時系列変動の激しい Internet2 のトラフィックを MPC-TE で制御した結果、各送信元・宛先間のフローのうち最大 5.8% のフローのみの経路変更により、輻輳発生時間を 0 にすることに成功した。またマクロフロー生成アルゴリズムを Internet2 の毎分 20 万フローのトラフィックに適用した結果、フローエントリ数を一般的な OpenFlow スイッチのフローエントリ上限数(1500 程度)以下である 1000 程度に抑えることに成功した。

PoC ではフローデータの観測、マクロフロー生成、最適経路計算、フローエントリ設定までの一連の TE 制御を実施すると同時に、全スイッチの 5 分毎のネットワーク状態 (時系列リンクトラフィック情報、時系列トラフィック遅延情報、マクロフロー分割情報、フローテーブル情報) を可視化した。



図 1 PoC 全体図および PoC 展示模様

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

構築した TE サーバは今年度中に JGN-X テストベッド上での実証実験を実施し、外部への波及効果を狙った活動を予定している。並行して、商用ネットワークの観測データを用いた検証実験を通して実ネットワーク環境上での有効性を検証し、実ネットワークへの適用を狙う。

SDN においては、NBI(North-bound API)および SBI(South-bound API)をはじめとしたコンポーネント間の連携技術については標準化団体での標準化や SDN ソフトウェアのオープンソース公開によるデファクトスタンダード化を狙った活動が活発化している。このような状況を鑑みて、本研究で得られた研究成果を広く展開していくために、今後、海外のテストベッド、コンソーシアムを通じて、研究成果のグローバル展開を計画している。

さらに、実機による PoC 構築を通して、MPC-TE で発生した予測困難トラフィックを適応的に制御するためには、数秒から数十秒の周期で制御することが望ましいが、フローデータの収集・分析と最適経路算出、スイッチへの

経路テーブル設定に時間がかかることから、5 分以下の制御周期で構築することは困難であることが判明した。これらの処理負荷はネットワーク規模・フロー数が多くなるにつれて高まることが考えられる。大規模ネットワーク制御を SDN で実施する際には、大量のトラフィックデータを短時間で処理するためのデータ収集・分析基盤、効率的な経路計算アルゴリズム、経路テーブルの即時更新が可能な SDN スイッチの開発が明らかになったため、これらの課題解決に取り組む予定である。

4. むすび

本研究ではモデル予測制御を用いた TE への適用性を実機も含めて確認し、安定した通信品質を実現するための全く新しい通信基盤技術の礎を築いた。今後、ネットワーク仮想化技術の導入が急速に進むことが考えられ、仮想ネットワークを提供するネットワーク事業者と仮想ネットワークを利用するサービス事業者の間で引き起こされる制御の相互干渉について解決する必要がある。我々は、今回開発した技術を複数主体間に発展させることで上記の課題を解決する制御技術の検討を始めており、複数仮想ネットワーク環境下の通信基盤技術への展開を計画している。

【誌上発表リスト】

- [1] Tatsuya Otoshi, Yuichi Ohsita, Masayuki Murata, Yousuke Takahashi, Noriaki Kamiyama, Keisuke Ishibashi, Kohei Shiomoto, Tomoaki Hashimoto, "Traffic Engineering Based on Model Predictive Control", IEICE Transactions on Communication
- [2] Yousuke Takahashi, Keisuke Ishibashi, Noriaki Kamiyama, Kohei Shiomoto, Tatsuya Otoshi, Yuichi Ohsita, Masayuki Murata, "Macroflow-based traffic engineering in SDN-controlled network", 11th International Conference on IP+Optical Network (iPOP2015) (2015 年 4 月 20 日)
- [3] Noriaki Kamiyama, Yousuke Takahashi, Keisuke Ishibashi, Kohei Shiomoto, Tatsuya Otoshi, Yuichi Ohsita, Masayuki Murata, "Optimizing Cache Location and Route on CDN Using Model Predictive Control", 27th International Teletraffic Congress (ITC27)

【申請特許リスト】

- [1] 高橋洋介、石橋圭介、上山憲昭、塩本公平、大下裕一、村田正幸、"フロー集約手法、装置、プログラム"、日本、2014 年 2 月 19 日
- [2] 上山憲昭、高橋洋介、石橋圭介、塩本公平、大下裕一、村田正幸、"配信サーバ又は配信ルート設計装置、配信サーバ又は配信ルート設計方法及びプログラム"、特願 2015-031523、2015 年 2 月 20 日

【受賞リスト】

- [1] 大歳達也、大下裕一、村田正幸、高橋洋介、上山憲昭、石橋圭介、塩本公平、橋本智昭、電子情報通信学会情報ネットワーク研究賞、"トラフィック予測を考慮したトラフィックエンジニアリングの検討と評価"、2014 年 3 月 5 日
- [2] 高橋洋介、石橋圭介、上山憲昭、塩本公平、大歳達也、大下裕一、村田正幸、電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究賞、"フローベースネットワーク制御のためのマクロフロー構成手法"、2014 年 6 月 5 日
- [3] 上山憲昭、高橋洋介、石橋圭介、塩本公平、大歳達也、大下裕一、村田正幸、電子情報通信学会ネットワークシステム研究賞、"経路制御のためのフロー集約法"、電子情報通信学会、2015 年 3 月 2 日