

Prediction-based Control Theoretic Approach for Robust Traffic Engineering

予測型制御理論を用いた ロバストなトラフィックエンジニアリング

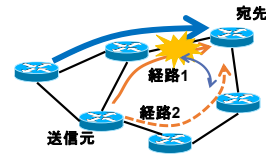
村田研究室 大歳達也

2014/2/14

1

トラフィックエンジニアリング

- ネットワーク内のトラフィック変化量が増大
 - ・ストリーミング配信・クラウドサービス等の大容量通信
- トラフィックエンジニアリング (TE) が必要
 - ・トラフィックの定期的な観測・動的な経路最適化



従来の TE の問題点
 ・トラフィック変動時に対応の遅れが発生
 ・場当たりの制御では頻繁な経路変更が発生
 →ネットワークの不安定化

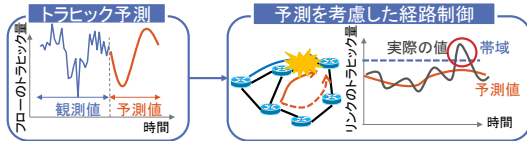
2014/2/14

2

トラフィック予測を用いた TE

方法

- 過去の観測トラフィックから将来のトラフィックを予測
- 予測されたトラフィックを収容する経路を設定



利点

- トラフィック変動に先立って経路変更
- 将来の変動も考慮し頻繁な変更を避けた経路変更

課題

- 予測誤差により誤った経路変更の発生

[1] T. Otoshi, Y. Ohsita, M. Murata, Y. Takahashi, K. Ishibashi, and K. Shiimoto, "Traffic prediction for dynamic traffic engineering considering traffic variation," in Proceedings of IEEE GLOBECOM 2013, pp. 1592-1598, Dec. 2013.

2014/2/14

3

研究目的とアプローチ

研究目的

- 予測される変動に追随しつつも予測誤差にロバストな TE の検討

アプローチ

モデル予測制御(MPC)

- システムの将来の振る舞いを予測
- フィードバックによる予測の修正
- 予測誤差に対する過剰反応を回避

TE への適用

- 将来のトラフィックを予測し経路変更
- 予測誤差にもロバストな経路変更

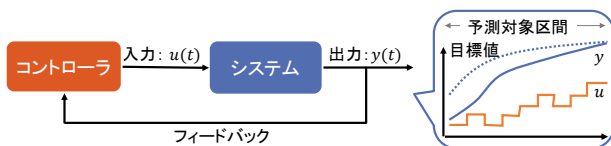
[2] S. J. Qin and T. A. Badgwell, "A survey of industrial model predictive control technology," Control Engineering Practice, vol. 11, no. 7, pp. 733-764, Jul. 2003.

2014/2/14

4

モデル予測制御

- システムの出力値を目標値に近くよう入力値を設定
- システムの将来の振る舞いを考慮した段階的な入力設計



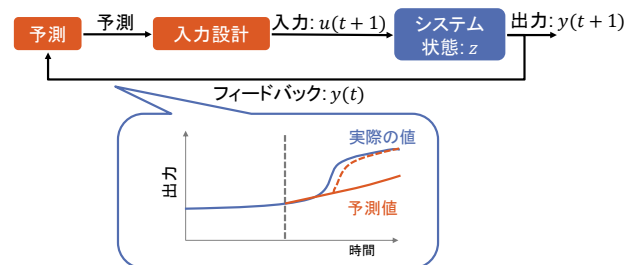
将来のシステムの出力値の予測には予測誤差が含まれるため、
予測誤差に対してロバストな入力設計を行うことが必要

2014/2/14

5

フィードバックによる予測の修正

- 各制御周期では直近の入力値のみ投入
- 出力をフィードバックとして予測を修正し入力値を再計算
- 各時刻での入力値の変更量を抑え安定な設定変更

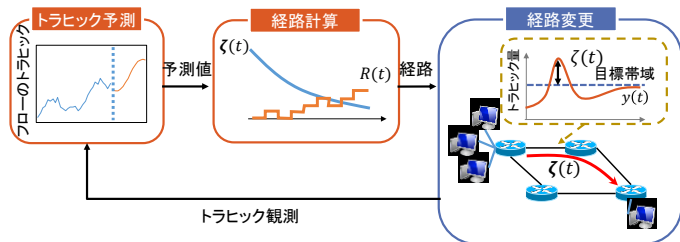


2014/2/14

6

MPC の TE への適用

- 経路割当 R が入力、その結果リンク上には流れるトラヒック y が出力
- 各リンクの目標帯域を超過した送出力 ζ を 0 に近づけることが目的



2014/2/14

7

MPC を適用した TE

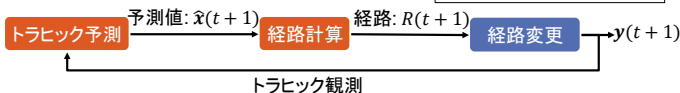
- 定式化

$$\text{minimize} : \sum_{k=t+1}^{t+h} ((1-w)\|\zeta(k)\|^2 + w\|R(k) - R(k-1)\|^2)$$

subject to : $\hat{y}(k) = G \cdot R(k) \cdot \hat{x}(k)$
 $\forall p, n_l, \zeta_p(k) = \max_{l \in p} [\hat{y}_l(k) - c_l]^+ / C$
 $\forall p, \forall f, R_{p,f}(k) \in [0,1]$
 $\sum_{p \in \phi(f)} R_{p,f}(k) = 1$

w : 経路変更の重み
 G : ルーティング行列
 \hat{x} : トラヒック需要の予測値
 c_l : リンク l の目標帯域
 n_l : リンク l を共有する経路数
 ϕ : 利用可能な経路の集合
 C : 帯域の最大値
 \hat{y} : リンク上のトラヒック予測値
 ζ : 帯域超過トラヒック
 R : 経路割当

- 動作



2014/2/14

8

評価

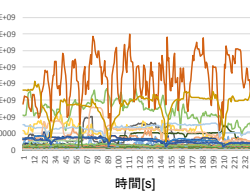
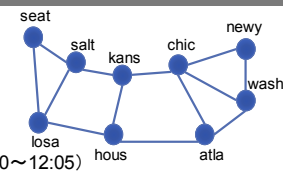
- 単純なネットワークを用いた基本的動作の確認
 - 目標帯域への収容能力
 - End-to-End遅延
- 実際のトポロジー・トラヒックトレースを用いた有効性の確認
 - 目標帯域への収容能力
- パラメータ設定の影響の確認
 - 経路変更の重み w の影響
 - 予測ホライズンの長さ h の影響
 - 予測・制御周期の長さの影響

2014/2/14

9

評価環境

- ネットワーク環境
 - トポロジ: Internet2
 - トラヒック: トレースデータ^[3](2011/1/11, 12:00~12:05)
- 予測方法
 - トラヒック増減率に基づいた予測
- 評価指標
 - 目標帯域からの超過量
- 比較対象
 - 観測ベースのTE
 - 平滑化を用いたTE
 - 指数平滑移動平均を用いて観測値を平滑化
 - 平滑化された値を基に経路設定

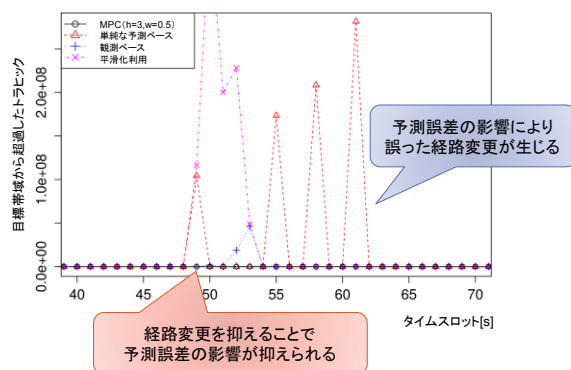


[3] "Internet2 data," available from <http://internet2.edu/observatory/archive/data-collections.html>

2014/2/14

10

目標帯域内への収容能力



2014/2/14

11

まとめと今後の課題

- まとめ
 - MPC を TE に適用することで予測誤差にロバストな経路変更を実現
 - 予測の定期的な修正を行う
 - 予測誤差による過度な経路変更の回避する
 - パラメーター設定に関する指針
 - 経路変更の重み w は TE に大きく影響を与えない
 - 予測ホライズンの長さ h は3以上の値であれば十分である
 - 予測周期は細粒度である必要がある
 - 制御周期は多少長くしてもトラヒック変動に対応可能である
- 今後の課題
 - MPC を用いた TE のロバスト性についての理論的解析
 - 分散型制御によるスケーラビリティの確保
 - 実機を用いた実証実験

2014/2/14

12