

モデル予測制御にもとづくトラフィックエンジニアリングの実ネットワークにおけるトラフィックデータを用いた評価

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^{†††}

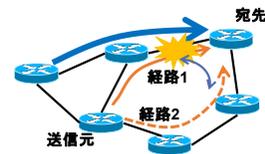
[†] 大阪大学 大学院情報科学研究科
^{††} 日本電信電話株式会社
 NTT ネットワーク基盤技術研究所
^{†††} 大阪大学 大学院基礎工学研究科

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



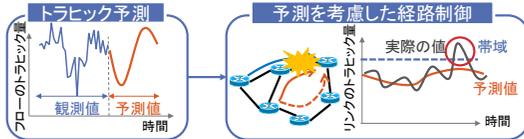
従来の TE の問題点
 ・トラフィック変動時に対応の遅れが発生
 ・場当たりの制御では頻繁な経路変更が発生
 → ネットワークの不安定化

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

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従しつつも予測誤差にロバストな TE の検討

- アプローチ



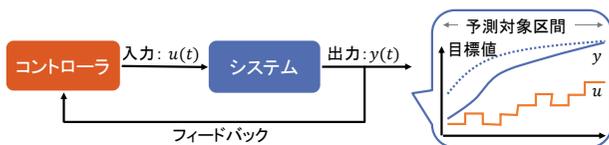
[2] S. J. Qin and T. A. Badgwell, "A survey of industrial model predictive control technology," *Control Engineering Practice*, vol. 11, no. 7, pp. 733-764, Jul. 2003.

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



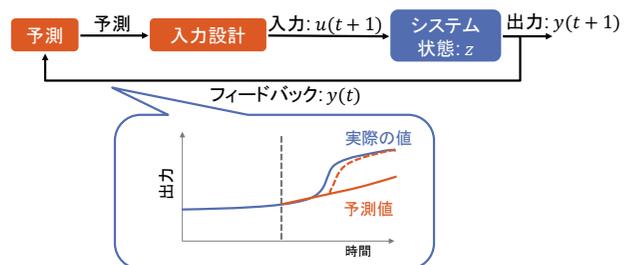
将来のシステムの出力値の予測には予測誤差が含まれるため、予測誤差に対してロバストな入力設計を行うことが必要

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

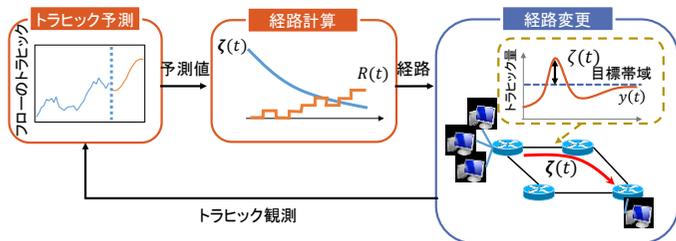


2014/2/14

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流れるトラフィック y が出力
- 各リンクの目標帯域を超過した送出量 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} : トラフィック需要の予測値
 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} : リンク上のトラフィック予測値
 ζ : 帯域超過トラフィック
 R : 経路割当

- 動作

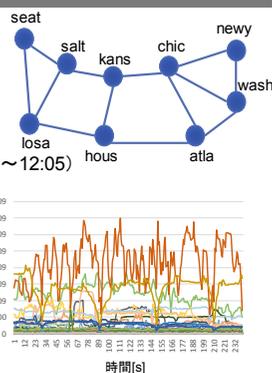


2014/2/14

8

評価環境

- ネットワーク環境
 - トポロジ: Internet2
 - トラフィック: トレースデータ^[3] (2011/1/11, 12:00~12:05)
- 予測方法
 - トラフィ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

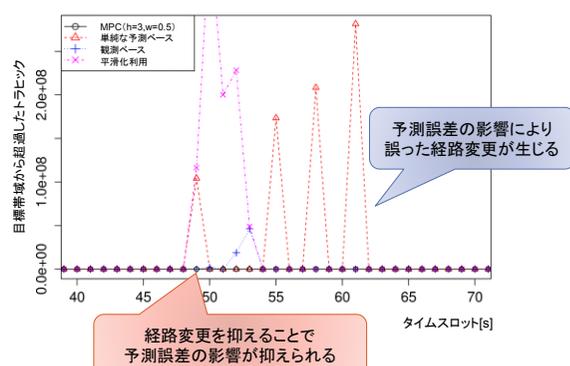


[3] "Internet2 data," available from <http://internet2.edu/observatory/archive/data-collections.html>

2014/2/14

9

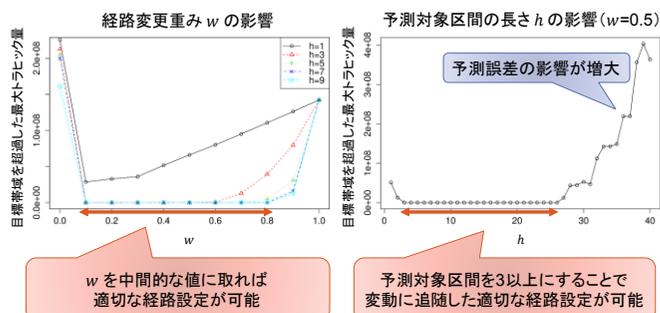
目標帯域内への收容能力



2014/2/14

10

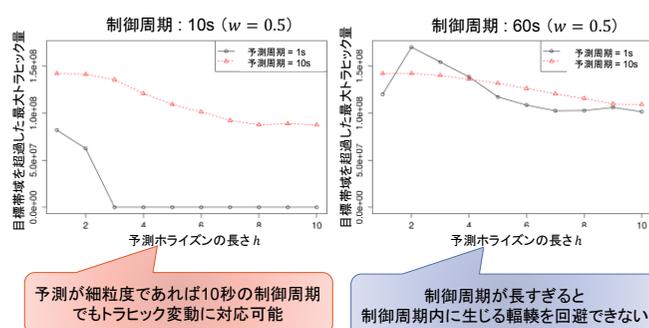
制御パラメータの影響



2014/2/14

11

予測・制御周期の影響



2014/2/14

12

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フィ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