

## 制御理論を用いた TCP Vegas にもとづく ウィンドウ型フロー制御方式の特性解析

大崎 博之

大阪大学 大学院基礎工学研究科 情報数理系専攻  
oosaki@ics.es.osaka-u.ac.jp  
<http://www-miya.ics.es.osaka-u.ac.jp/~oosaki/>

## 発表の内容

- 研究の背景
- 解析モデル
- 安定性解析
- 過渡特性解析
- 制御パラメータの最適化制御
- まとめと今後の課題

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

2

## フィードバック型の輻輳制御

- ネットワークからのフィードバック情報を利用
  - パケット交換ネットワーク
  - データ系トラヒック
- ネットワーク内部でのパケット棄却を防ぐ
- ネットワーク資源を有効利用する
- TCP/IP ネットワークは TCP を使用

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

3

## TCP (Transmission Control Protocol)

- パケット再送機能
  - 棄却されたパケットを受信側ホストへ再送
- 輻輳制御機能
  - ウィンドウサイズによって送出パケット数を調整
- 異なるバージョンが存在
  - TCP Tahoe
  - TCP Reno
  - TCP Vegas

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

4

## TCP Reno の輻輳回避機構

- BSD UNIX に実装され、現在も広く利用
- パケット棄却の発生を利用
  - 送信側ホストは連続的にウィンドウサイズを増加
  - ルータにおいてパケット廃棄が発生
  - タイムアウト等によりパケット廃棄を検出
  - ウィンドウサイズを減少
- ウィンドウサイズが安定しない

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

5

## TCP Vegas の輻輳回避機構

- TCP Reno の問題点を解消
  - 新しいタイムアウト機構
  - バッファ占有量を制御する輻輳回避機構
  - 改良されたスロースタート機構
- パケットのラウンドトリップ時間を観測して利用
  - ACK を受信するまでの時間を測定
  - バッファ内に蓄えられているパケット数を推測
  - この値が一定となるようにウィンドウサイズを調整

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

6

## 研究の目的

- ☞ ウィンドウ型フロー制御方式の特性解析
  - ☞ TCP Vegas の輻輳回避機構を一部変更
  - ☞ 制御理論を適用する
- ☞ 安定条件
  - ☞ ウィンドウサイズが安定するための条件
- ☞ 過渡特性解析
  - ☞ 制御パラメータとシステムの過渡特性の関係
- ☞ 制御パラメータの最適化制御

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

7

## TCP Vegas の輻輳回避機構

- ☞ 送信側ホストは往復伝播遅延時間  $\tau$  を保持
- ☞ ACK パケットを用いて RTT  $r(k)$  を測定

$$d(k) = \frac{w_i(k)}{\tau} - \frac{w_i(k)}{r(k)}$$

- ☞  $d(k)$  の値に応じてウィンドウサイズを変更

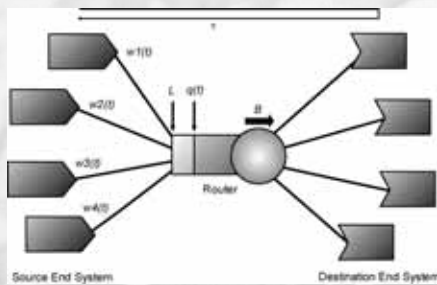
$$w_n(k+1) = \begin{cases} w_n(k)+1 & \text{if } d(k) < \alpha \\ w_n(k)-1 & \text{if } \beta < d(k) \\ w_n(k) & \text{otherwise} \end{cases}$$

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

8

## 解析モデル



HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

9

## 解析における仮定

- ☞ ラウンドトリップ時間ごとに状態が変化
  - ☞ 離散時間モデルで考える
- ☞ 送信側ホストは常に転送するデータを持つ
- ☞ 全コネクションのラウンドトリップ時間は等しい

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

10

## システムの状態方程式

- ☞ ウィンドウサイズの変化
  - ☞  $\delta$ : ウィンドウサイズの変化量を決める制御パラメータ

$$w_n(k+1) = \max(w_n(k) + \delta(\gamma - d(k)), 0)$$

- ☞ ルータのバッファ内パケット数の変化

$$q(k+1) = \min(\max(N \cdot w(k) - B \cdot \tau(k), 0), L)$$

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

11

## 安定性解析

- ☞ システムの平衡点を導出
- ☞ 平衡点の近傍で線形化
- ☞ 平衡点が局所漸近安定となる条件を導出

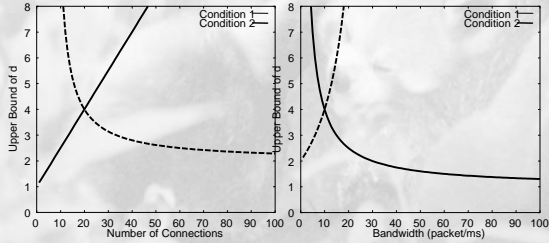
$$\begin{aligned} \delta &> 0 \\ \frac{\delta(B - \gamma N)}{(B + \gamma N)\tau} + 2 &> 0 \\ \frac{B\delta}{(B + \gamma N)} &< 1 \end{aligned}$$

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

12

### 安定条件をみたく $\delta$ の範囲



コネクション数を変化させた場合

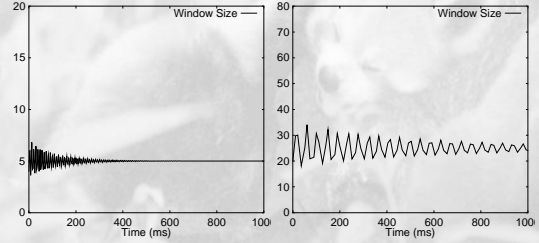
ルータの処理能力を変化させた場合

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

13

### $\delta$ が安定条件をみたく場合



往復伝播遅延時間が 1ms の場合

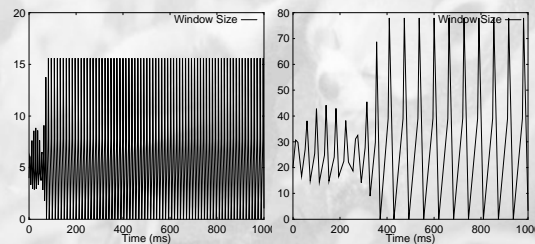
往復伝播遅延時間が 5ms の場合

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

14

### $\delta$ が安定条件をみたくさない場合



往復伝播遅延時間が 1ms の場合

往復伝播遅延時間が 5ms の場合

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

15

### 過渡特性解析

#### 特性方程式の解

$$s_i = \frac{-\delta\gamma N + B\tau + \gamma N\tau \pm \sqrt{-4B\delta\tau(B + \gamma N) + (\delta\gamma N - B\tau - \gamma N\tau)^2}}{2(B + \gamma N)\tau}$$

$|s_i|$  が 0 に近いほど収束が速くなる

$$|s| \equiv \max(|s_1|, |s_2|)$$

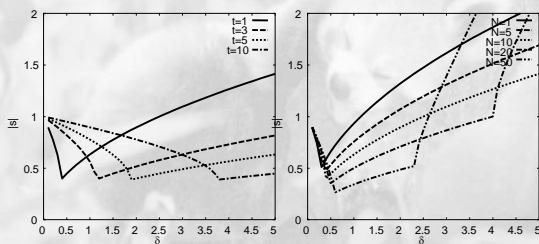
安定条件をみたく  $|s|$  を最小化すればよい

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

16

### $\delta$ と $|s|$ の関係



伝播遅延時間の影響

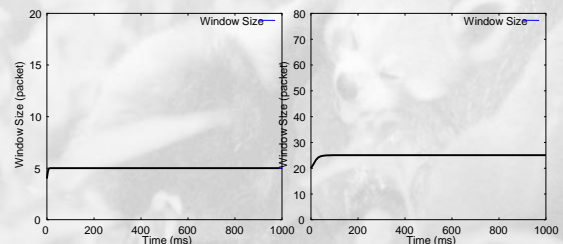
コネクション数の影響

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

17

### 最適な $\delta$ を選んだ場合



往復伝播遅延時間が 1ms の場合

往復伝播遅延時間が 5ms の場合

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

18

## 制御パラメータの最適化制御

- ☞ 実際にはシステムパラメータが変動する
  - ☞ アクティブなコネクション数は時間に応じて変動
  - ☞ ルーティング処理により伝播遅延時間が変動
- ☞ 制御パラメータ  $\delta$  を適切に変更すべき
- ☞ 最適な  $\delta$  の計算に必要な情報
  - $B$ : ボトルネックとなるルータの処理能力
  - $N$ : アクティブなコネクション数

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

19

## 送信側ホストのアルゴリズム

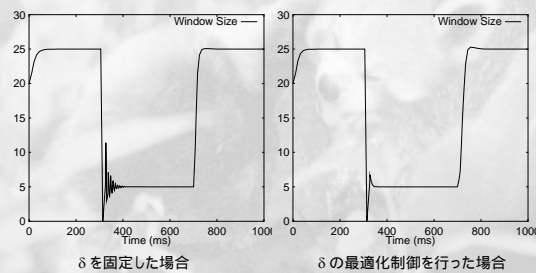
- ☞ ルータの処理能力  $B$  を推測
  - ☞ パケット・ペアなどの手法を用いる
- ☞ コネクション数  $N$  を推測
$$N = \max\left(\frac{B\tau}{w^* - \gamma\tau}, 1\right)$$
- ☞ 推測した  $B$  と  $N$  より最適な  $\delta$  を計算する
  - ☞ 安定条件をみたく
  - ☞ 収束の速度を最大化する

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

20

## 伝播遅延時間が変化した場合



HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

21

## まとめ

- ☞ ウィンドウフロー型輻輳制御方式
  - ☞ TCP Vegas の輻輳回避機構
  - ☞ ラウンドトリップ時間を測定
- ☞ 安定性解析
  - ☞ システムが安定するためのパラメータ条件
- ☞ 過渡特性解析
  - ☞ 収束の速度を最大化するためのパラメータ条件
- ☞ パラメータの最適化制御による性能向上

HQI 98-10

Hiroyuki Ohsaki

22