

制御理論を用いた TCP/IP ネットワークにおける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
- まとめと今後の課題

IN/CQ 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

IN/CQ 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

IN/CQ 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

IN/CQ 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

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

6

従来の研究

- ☞ TCP Vegas の性能評価
 - ↳ シミュレーションを使用
 - ↳ 制御パラメータをアドホックに決定
- ☞ 安定性や過渡特性は明らかにされていない

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

7

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

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

8

TCP Vegas の輻輳回避機構

- ☞ 送信側ホストは往復伝播遅延時間 τ 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

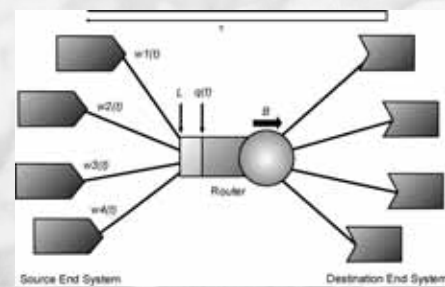
$$w_n(k+1) = \begin{cases} w_n(k)+1 & \text{if } d(k) < \alpha \\ w_n(k)-1 & \text{if } \beta < d(k) \\ w_n(k) & \text{otherwise} \end{cases}$$

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

9

解析モデル



IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

10

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

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

11

システムの状態方程式

- ☞ ウィンドウサイズの変化
 - ↳ δ : 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

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

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

12

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

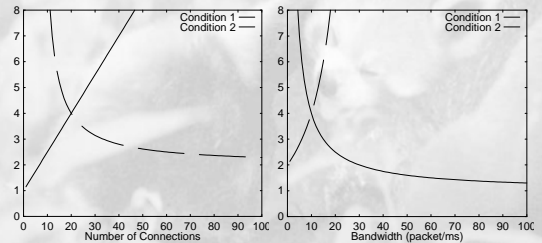
$$\begin{aligned} \delta &> 0 \\ \frac{\delta(B-\gamma N)}{(B+\gamma N)\tau} + 2 &> 0 \\ \frac{B\delta}{(B+\gamma N)} &< 1 \end{aligned}$$

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

13

安定条件をみたす δ の範囲



コネクション数を変化させた場合

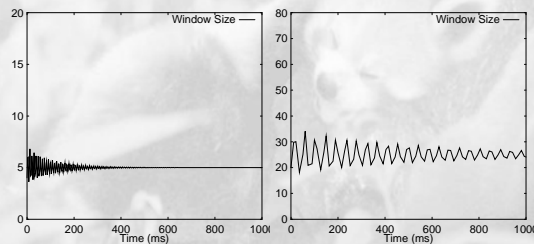
ルータの処理能力を変化させた場合

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

14

δ が安定条件をみたす場合



往復伝播遅延時間が 1ms の場合

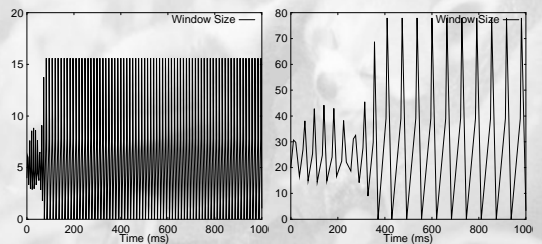
往復伝播遅延時間が 5ms の場合

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

15

δ が安定条件をみたさない場合



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

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

16

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

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

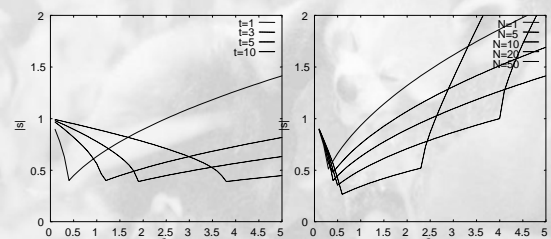
- ☞ 安定条件をみたし $|s|$ を最小化すればよい

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

17

δ と $|s|$ の関係



伝播遅延時間の影響

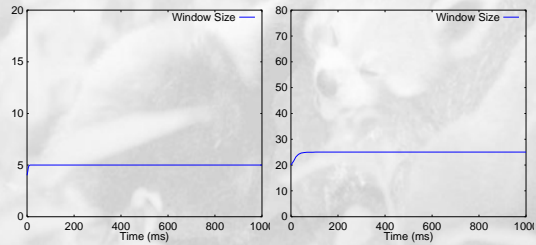
コネクション数の影響

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

18

最適な δ 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

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

19

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
 - ☞ 安定条件をみたさなければ動作が不安定となる
- ☞ 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による性能向上

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

20

今後の課題

- ☞ 制御パラメータの適応制御
 - ☞ 実際のネットワークではコネクション数などが変動
 - ☞ 制御パラメータを動的に変更するべき
- ☞ TCP 以外のトラフィックを考慮
 - ☞ UDP のような他のトラフィックの影響

IN/CQ 98-10

Hiroyuki Ohsaki

21