

REDゲートウェイの定常状態解析 ---安定性および過渡特性---

大崎 博之
大阪大学大学院基礎工学研究科
oosaki@ics.es.osaka-u.ac.jp

1

発表の内容

- 研究の背景
- REDゲートウェイのアルゴリズム
- 解析モデル
- 定常状態解析の概要
- 数値例/シミュレーションによる評価
- まとめと今後の課題

2

研究の背景

- フィードバック型の輻輳制御
 - ベストエフォート型トラフィックには必要不可欠
 - TCP (Transmission Control Protocol)
 - ウィンドウ型のフロー制御方式
 - エンド--エンド間での輻輳制御
- ゲートウェイにおける輻輳制御
 - 積極的にキュー長を制御
 - REDゲートウェイが現在注目されている

3

REDゲートウェイの特徴

- RED(Random Early Detection)
- 到着するパケットを確率的に廃棄する
- TCPのフローを区別しない
- 平均キュー長を小さく抑える
- 実装が簡単
- 制御パラメータの設定が困難

4

従来の研究

- シミュレーションによる評価
 - TCP + REDゲートウェイ
 - 制御パラメータを経験的に決定
- 数学的解析手法による評価
 - ボアソン到着パケット + REDゲートウェイ
 - TCPのダイナミクスが考慮されていない

5

研究の目的

- REDゲートウェイの定常特性を解析
- TCPのダイナミクスを含めて解析
- 数学的解析手法を用いる
 - ウィンドウ型フロー制御を離散時間モデルで記述
 - 制御理論による安定性/過渡特性解析
- 制御パラメータの決定方法を明らかに

6

REDゲートウェイ(概要)

- 制御パラメータ
 - minth: 最小しきい値
 - maxth: 最大しきい値
 - maxp: 最大パケット棄却確率
 - wq: 指数平均の重み
- パケット到着時の処理
 - 移動平均(EWMA)により平均キュー長を更新
 - 平均キュー長からパケット棄却確率を計算
 - 到着したパケットを確率的に廃棄

7

REDゲートウェイ(廃棄確率の計算)

- 到着したパケットを確率 p_b で廃棄
- p_b は平均キュー長の1次関数

$$p_b = \begin{cases} 0 & \text{if } \bar{q} < \min_{th} & \text{棄却しない} \\ \frac{1}{\max_p} \left(\frac{\bar{q} - \min_{th}}{\min_{th} - \min_{th}} \right) & \text{if } \bar{q} \geq \min_{th} & \text{すべて棄却} \\ \text{otherwise} & & \text{確率的に棄却} \end{cases}$$

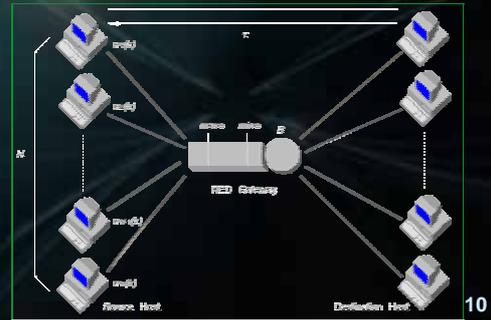
8

解析モデル

- 解析モデル
 - 送信側ホストは TCP Reno
 - 離散時間モデル (スロット長 = RTT)
- 解析における仮定
 - すべてのコネクションの伝播遅延は等しい
 - 送信側ホストは常に転送するデータを持つ
 - パケット棄却はすべて重複 ACK により検出

9

解析モデル



10

解析の概要(1)

STEP 1: 状態遷移方程式の導出

- 状態変数 ($N + 2$ 個)
 - 送信側ホストのウィンドウサイズ
 - REDゲートウェイのキュー長
 - REDゲートウェイの平均キュー長
- スロット間の状態遷移を記述
- 状態遷移方程式は確率 p_b を含む

11

解析の概要(2)

STEP 2: 平均状態遷移状態方程式の導出

- パケット棄却発生直後に着目
- シーケンス間の平均的な状態遷移を記述



12

解析の概要 (3)

- 導出した平均状態遷移方程式
 - すべての初期ウィンドウサイズが等しい場合

$$w(k+s_k) = \frac{w(k)+s_k-1}{2}$$

$$q(k+s_k) = \frac{N(w(k)+s_k-1)-B\tau}{2}$$

$$\bar{q}(k+s_k) \cong (1-w_q)^{s_k} \bar{q}(k) + \{1-(1-w_q)^{s_k}\} \bar{q}(k)$$

13

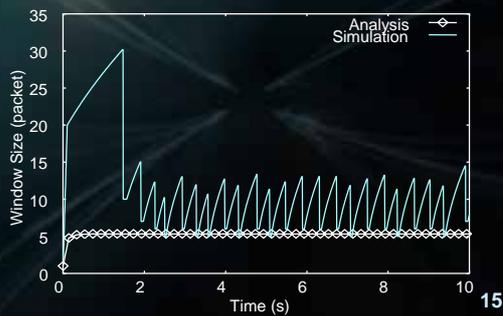
解析の概要 (4)

- STEP 3: 定常状態解析および過渡特性解析
 - 平衡点 (定常状態における値) を導出
 - 平均状態遷移方程式を線形化 (1次近似)
 - 制御理論を適用
 - 特性方程式の固有値 s_i が特性を決定する
 - 安定条件: s_i のノルムが1より小さい
 - 過渡特性: s_i のノルムの最大値が小さいほどよい

14

N=1, B=2 [packet/ms], t=1 [ms], minth=5, maxth=15, maxp=0.1, qw=0.02

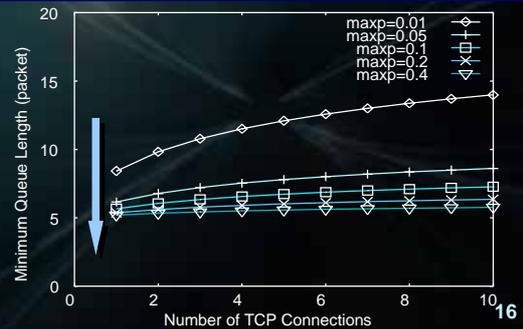
シミュレーションとの比較



15

N, B=2 [packet/ms], t=1 [ms], minth=5, maxth=15, maxp, qw=0.02

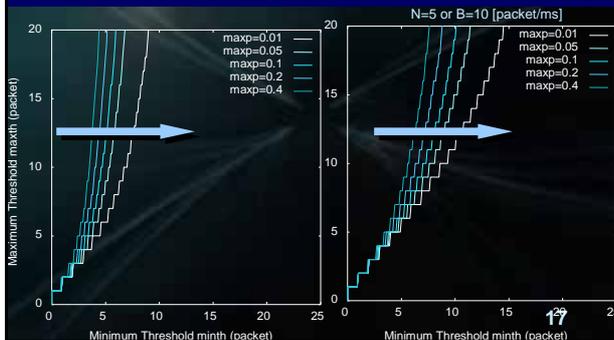
数値例 (平均キュー長)



16

N=1, B=2 [packet/ms], t=1 [ms], minth, maxth, maxp=0.1, qw=0.02

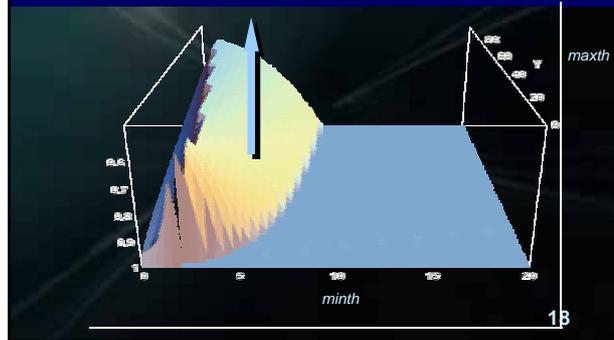
数値例 (安定条件)



17

N=1, B=2 [packet/ms], t=1 [ms], minth, maxth, maxp=0.1, qw=0.02

数値例 (過渡特性)



18

まとめ

- TCP + RED ゲートウェイの定常状態解析
 - maxp: REDゲートウェイのキュー長を決定
 - コネクション数または帯域遅延積が大きいと、ネットワークはより安定になる
 - minth: TCPコネクションの過渡特性を決定
- 今後の課題
 - FIFO + RED 混在環境の解析
 - より一般的なネットワークにおける解析
 - 制御理論を用いたロバストな輻輳制御機構の設計

19