Advanced Network
Architecture
Research Group

制御理論を用いたREDゲートウェイの過渡特性解析に関する検討

大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理系
村田研究室
岸本　統久
kisimoto@ics.es.osaka-u.ac.jp

発表の内容

- 研究の背景と目的
- REDゲートウェイ
- 解析モデルと状態遷移方程式
- 過渡特性解析
- 数値例による評価
- まとめと今後の課題

研究の背景

- TCP の輻輳制御機構
  - ウインドウ型のフロー制御方式
  - エンド-エンド間で動作
  - ゲートウェイの動作に依存しない
- ゲートウェイによる輻輳制御機構
  - TCP の輻輳制御機構を補助
  - ネットワーク全体の性能向上が可能
  - REDゲートウェイが代表的

REDゲートウェイの特徴

- 従来のDrop-Tailゲートウェイと比べ
  - 平均キュー長を小さく抑える
  - 複数のコネクションの同期を防ぐ
  - コネクション間の公平性が向上
  - パラメータ設定が困難

従来のREDの研究

- シミュレーションによる研究－多数
- 数学的な解析による研究－少数
  - TCPコネクション数が一定であると仮定
  - 定常状態での解析もしくはシミュレーション
  - 過渡特性解析はほとんどない
  - 実際のネットワークではコネクション数が変動

我々のこれまでの研究

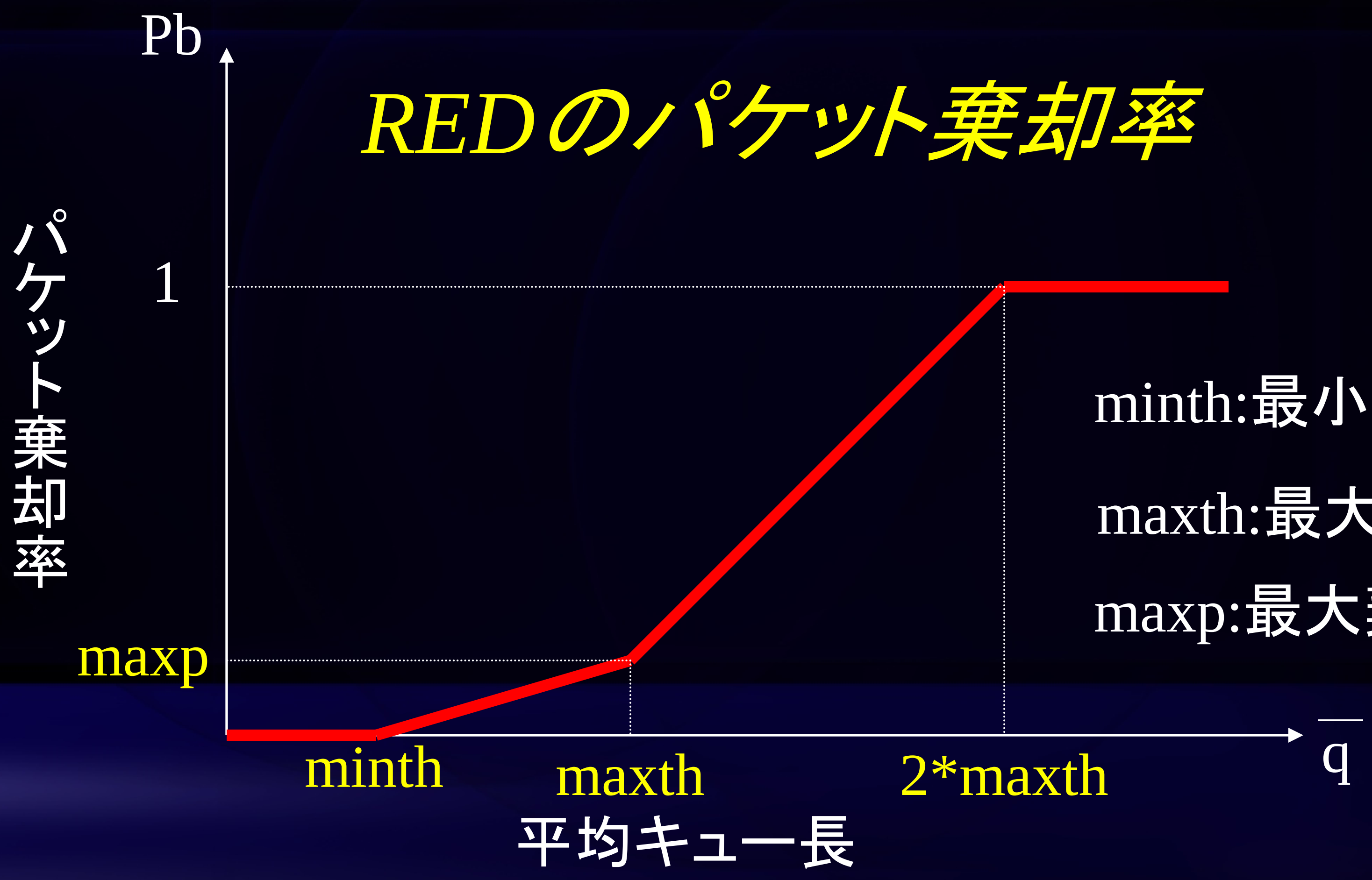
- TCPコネクション数が増加した場合
  - トラヒック量が一時的に増加
  - 大量のパケット棄却が起こる可能性
- TCPコネクション数が減少した場合
  - トラヒック量が一時的に減少
  - REDゲートウェイが低負荷になる可能性

- REDゲートウェイの過渡特性を解析
  - TCPコネクション数の一時的な変動を考慮
  - REDゲートウェイのキュー長に着目

研究の目的

- これまで
  - 一時的なTCPコネクション数の変動のみ
  - 現実的にはコネクション数は絶えず変動
    - 例）コネクション数の増減
    - 例）コネクション数の連続的な増加
- さまざまなコネクションの変動に対する解析

REDゲートウェイのアルゴリズム

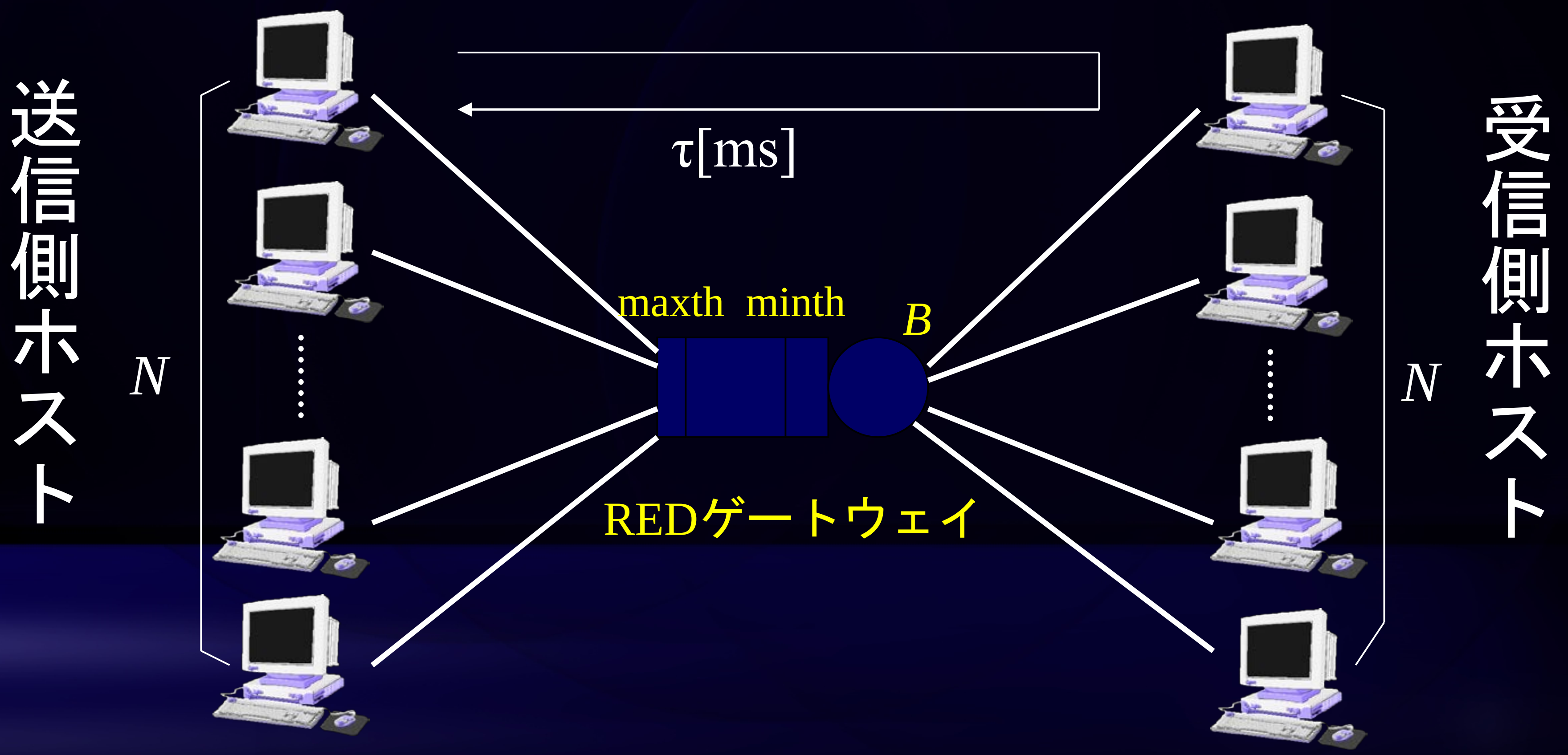


minth:最小の閾値

maxth:最大の閾値

maxp:最大棄却率

解析モデル



状態遷移方程式

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

$$q(k+\bar{s}(k)) \cong \frac{n(k)(w(k)+\bar{s}(k)-1)}{2} - B\tau$$

$$\bar{q}(k+\bar{s}(k)) \cong (1-q_w)^{\bar{X}(k)}\bar{q}(k) + \{1-(1-q_w)^{\bar{X}(k)}\}q(k)$$

文献［８］: H.Ohsaki,M.Murata,and H.Miyahara ”Steady state analysis of the RED gateway: stability,transient behavior and parameter setting,” to appear in IEICE Transactions on Communications, Jan. 2002.

過渡特性解析の概要

- 1. 現実のコネクション数の変動を場合分け
- 2.非線形なシステムを線形システムに近似
- 3.動作フェーズにより、異なる解析手法
- 4.伝達関数を導入し、過渡特性解析

1.コネクション数の変動の状況

- 文献[10]と同様に場合分けして異なる解析手法
  - すべてのコネクションが輻輳回避フェーズで動作
    - 転送を中断･終了した場合
    - 加わるコネクションが転送を再開し、かつ中断時間が短い場合
  - 一部のコネクションがスロースタートフェーズで動作
    - 加わるコネクションが転送を再開し、かつ中断時間が長い場合
    - コネクションが新たに転送を開始する場合

文献[10]:岸本　統久,大崎　博之,村田　正幸”TCPコネクション数の変動がREDゲートウェイの過渡特性に与える影響”,電子情報通信学会技術研究報告(NS2001-04)

2.システムの線形化

- 非線形なモデルを平衡点の近傍で線形化
- 状態遷移行列Aによって記述

$$\bar{\mathrm{x}}(k+\bar{s}(k)) = \mathrm{A}\bar{\mathrm{x}}(k)$$

$$\bar{\mathbf{x}}(k) \equiv \begin{bmatrix} w(k)-w^{*} \\ q(k)-q^{*} \\ \bar{q}(k)-\bar{q}^{*} \\ n(k)-n^{*} \end{bmatrix}$$

3.異なる解析手法

- すべてのコネクションが輻輳回避フェーズで動作
  - 入力u(k)をコネクション数n(k)の変化としてモデル化

$$\bar{\mathbf{x}}(k+\bar{s}(k)) = \mathbf{A}\bar{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{B}u(k)$$
$$y(k) = \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}(k)$$
$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T$$
$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- 一部のコネクションがスロースタートフェーズ
  - 入力u(k)をウィンドウサイズw(k)の和としてモデル化

$$\bar{\mathbf{x}}(k+\bar{s}(k)) = \mathbf{A}\bar{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{B}u(k)$$
$$y(k) = \mathbf{C}\bar{\mathbf{x}}(k)$$
$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$$
$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.伝達関数の導入

伝達関数:周波数領域における入力と出力の比

$U(z) \rightarrow G(z) \rightarrow Y(z)$

コネクション数の変動　または

ウィンドウサイズの和

TCPおよび

REDゲートウェイ

キュー長

$$Y(z)=U(z)G(z)$$

$$G(z)=\mathbf{C}(z\mathrm{I}-\mathrm{A})^{-1}\mathbf{B}$$

一時的なコネクション数の変動（輻輳回避フェーズの場合）

インパルス入力によって表せる

$$u(k) = \begin{cases} \Delta N & \text{if } \mathrm{k} = \mathrm{Si} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U(z) = \Delta N z^{-i}$$

一般的なコネクション数の変動（輻輳回避フェーズの場合）

- 複数のインパルス入力の重ね合わせで表現

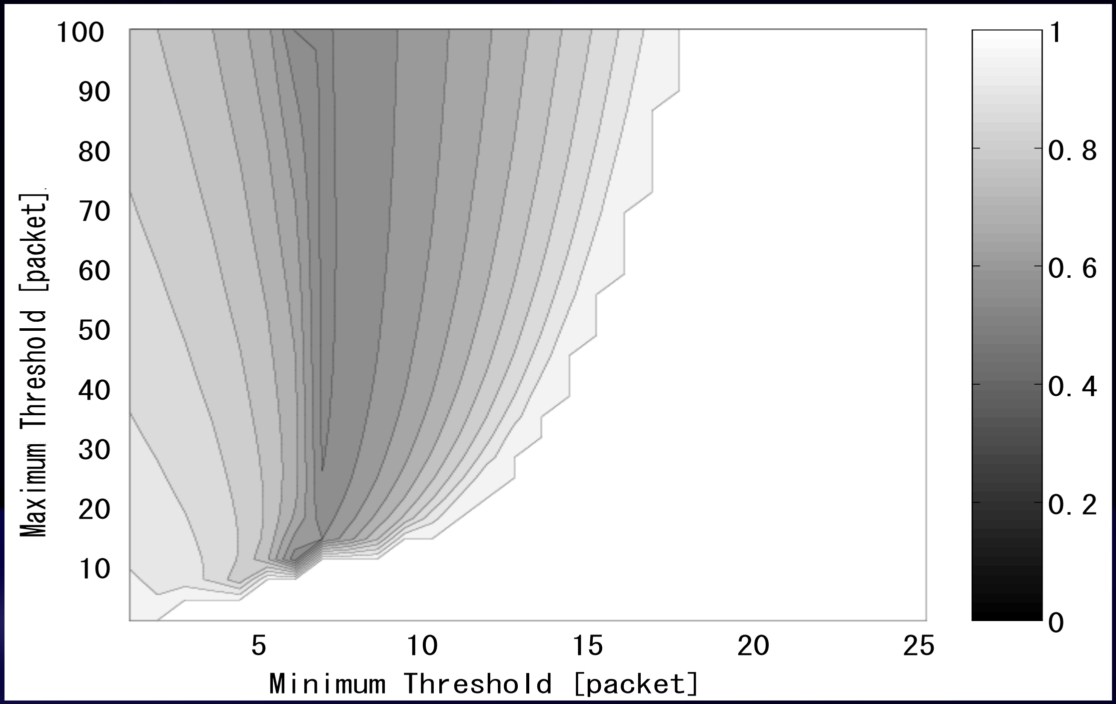
$$U(z) = \sum_i \Delta N_i z^{-t_i}$$

- 連続的なコネクション数の変動

$$U(z) = \frac{\Delta N z}{z - 1}$$

数値例
（極の最大絶対値）

- 最大絶対値が小さいほど過渡特性がよい



条件：

maxp=0.1,

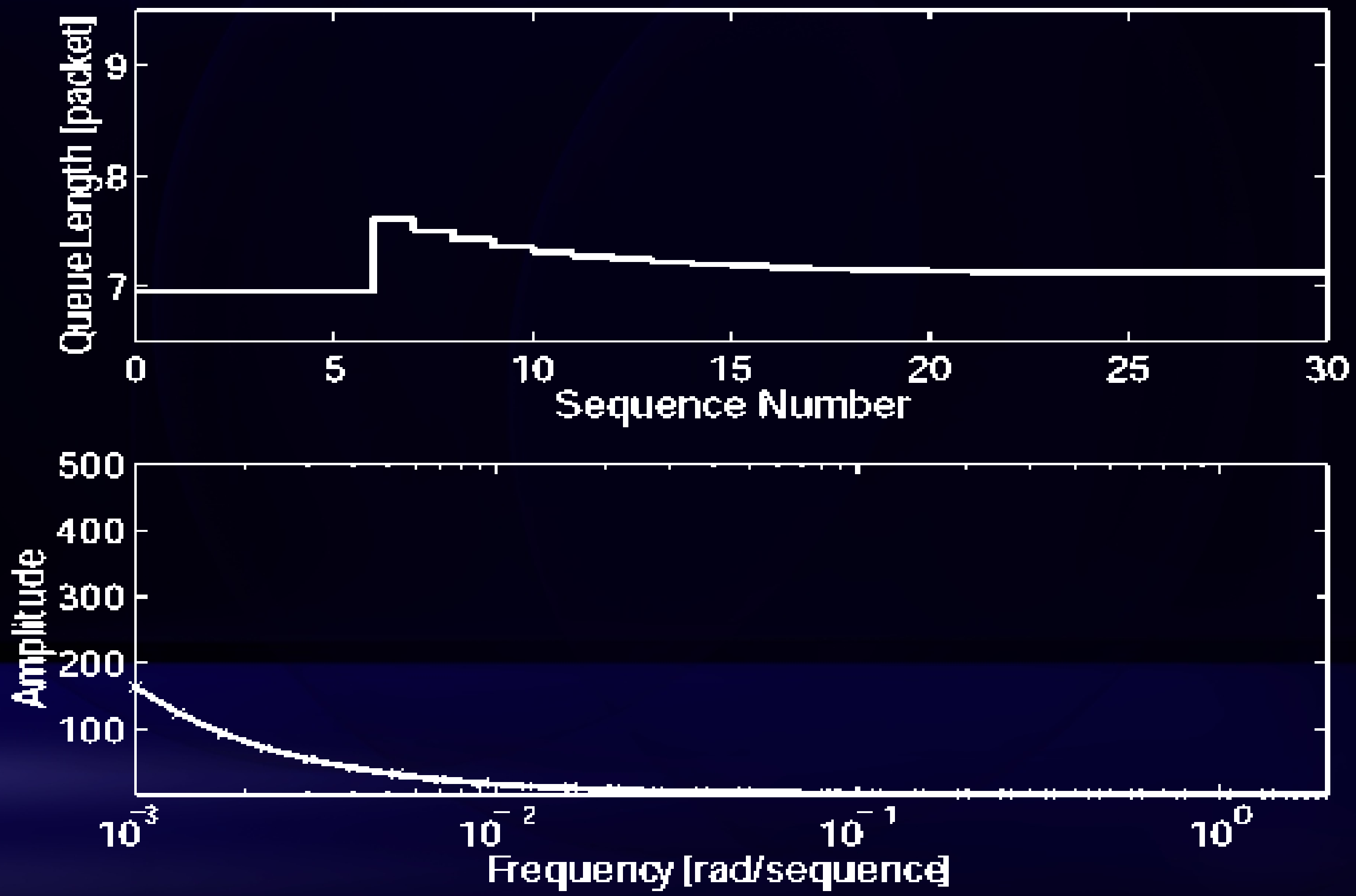
N=5,

B=0.2

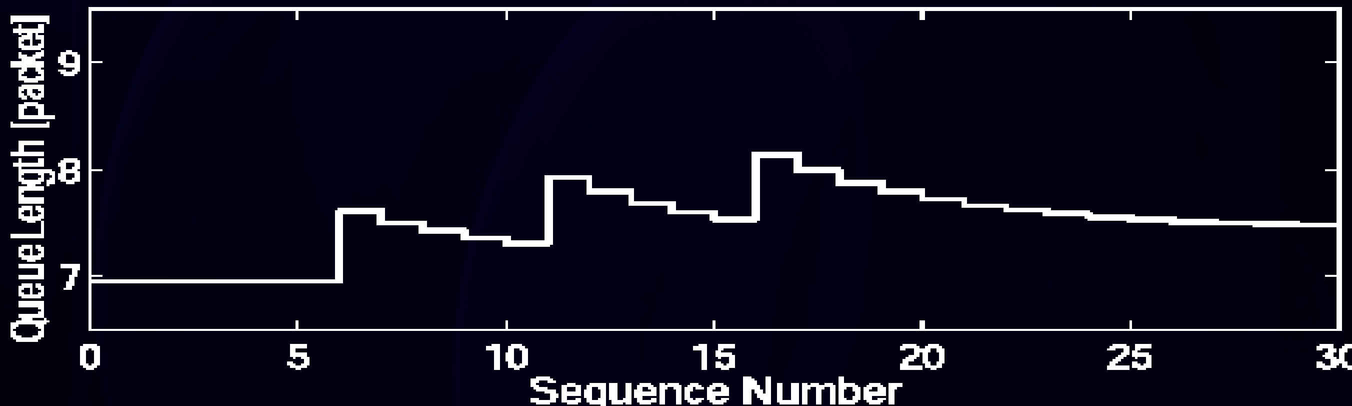
[packet/ms],

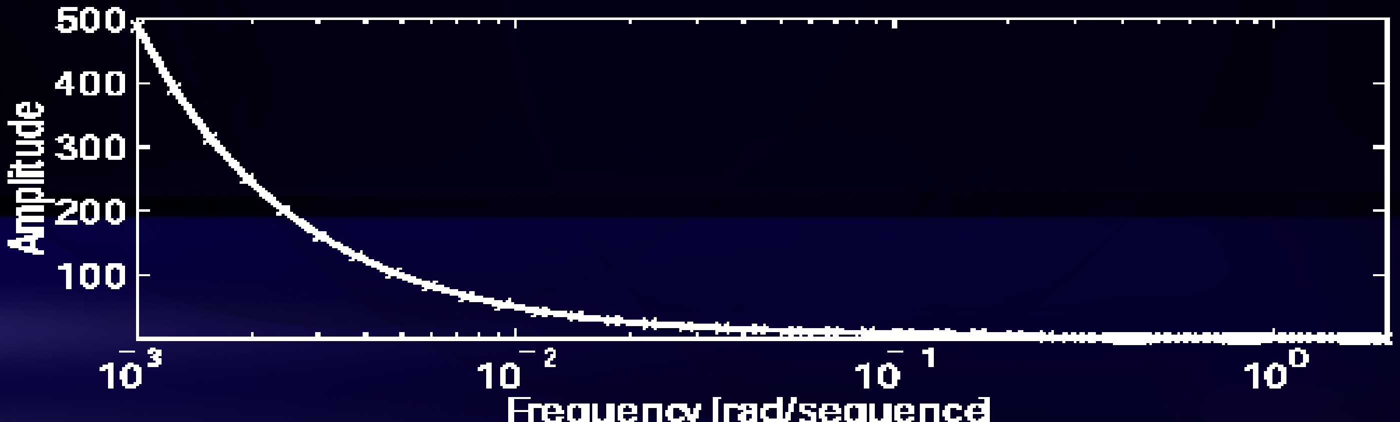
τ=1[ms]

数値例
（キュー長とゲイン特性）

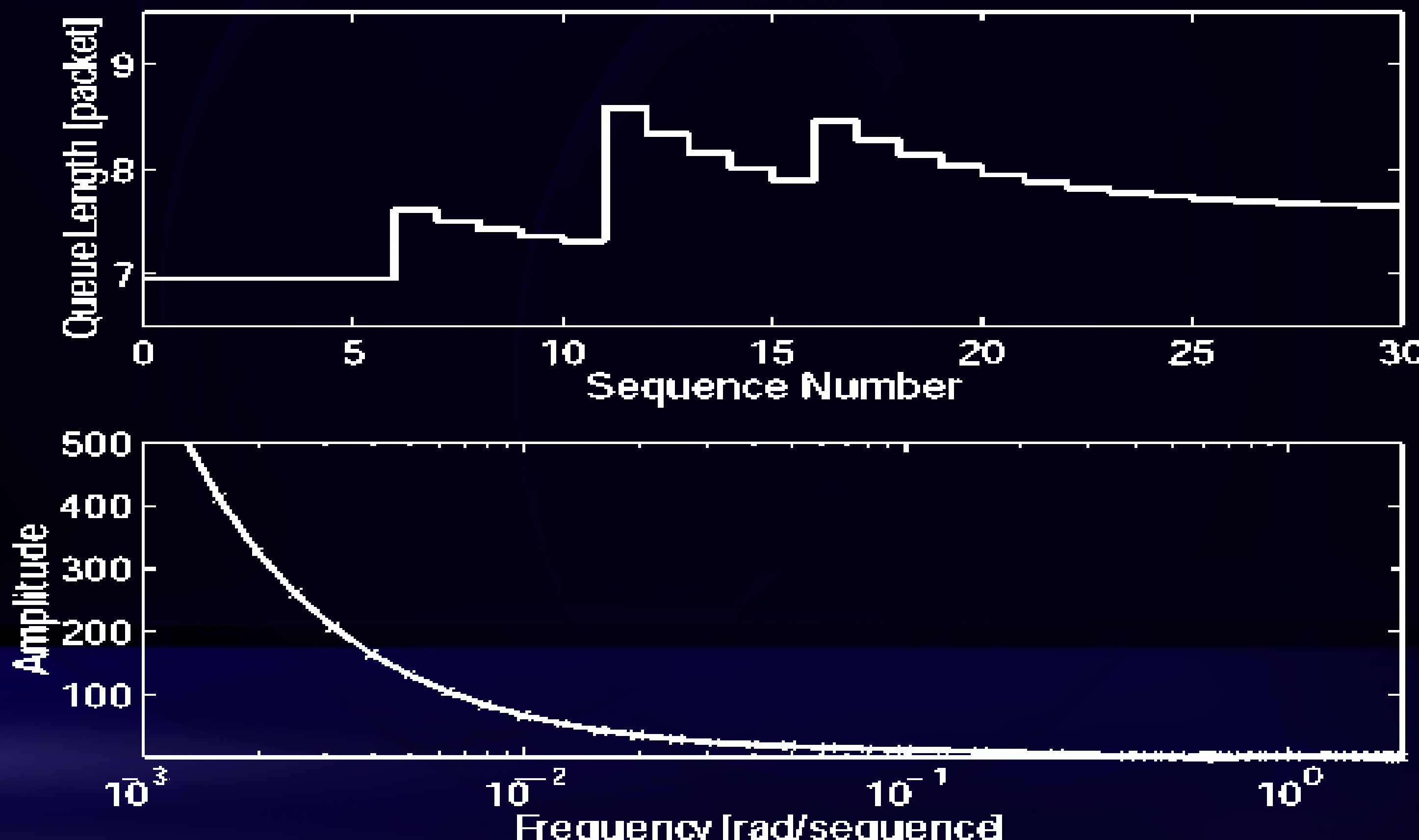


数値例
（コネクションが連続して増加した場合）

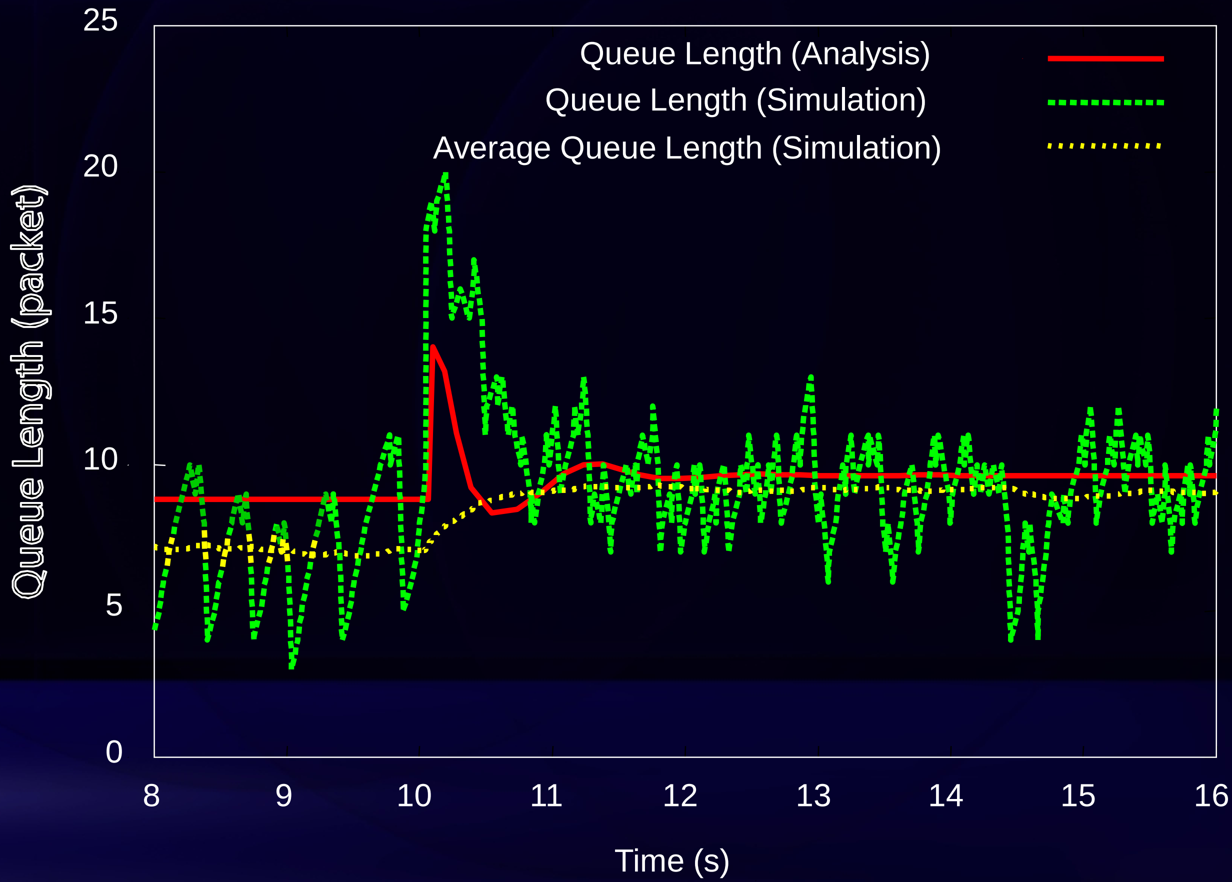




数値例
（コネクションが連続して増加した場合）



数値例
（解析結果とシミュレーション結果の比較）



まとめと今後の課題

- RED ゲートウェイの過渡特性を解析
  - さまざまなコネクション数の変動を考慮
  - 伝達関数を使用
- 数値例による考察
  - minthが安定性･過渡特性に大きな影響
  - ゲイン特性を調べることにより過渡状態のキュー長を比較
- 今後の課題
  - 伝達関数をさらに応用させた議論