

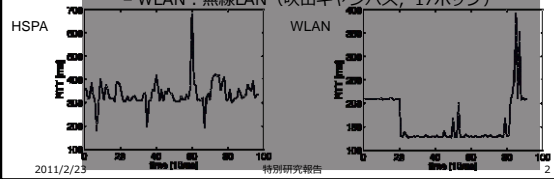
アトラクタ摂動モデルを応用したエンド間遅延を安定させる送信レート制御手法の提案と評価

脇みどり
大阪大学基礎工学部情報科学科
村田研究室

2011/2/23 特別研究報告

研究の背景：生物システムとネットワークのゆらぎ

- 生物システム
 - 自然界においてノイズやゆらぎが存在
 - ノイズやゆらぎが生物の適応性を高めている
- ネットワーク
 - ノイズやゆらぎが存在
 - youtube.comへの接続における往復遅延 (RTT : Round Trip Time) の変動
 - 3G/HSPA : EMOBILE (豊中キャンパス, 16ホップ)
 - WLAN : 無線LAN (吹田キャンパス, 17ホップ)



研究背景：ゆらぎを活かした制御

- 現在の決定論的制御
 - 設計時に観測値の変動を予想
 - 想定範囲内で制御ルールや機構を規定
 - 予期しない状態変化に対して、極端な機能低下

ゆらぎを除去するのではなく、効果的に制御へ活用した環境変動に対する適応性、頑丈性の高いネットワーク制御

- ゆらぎのあるシステムへの外力と応答の関係を表したアトラクタ摂動モデル[19]の応用
 - 外力に対する応答の変化量が、システムの変動の大きさに比例
 - 状態変化に適応的、自律的かつ簡便な制御を実現を目指す

[19] K. Sato, Y. Ito, T. Yomo, and K. Kaneko, "On the relation between fluctuation and response in biological systems," National Academy of Sciences, vol. 100, pp. 14086-14090, Nov. 2003.

2011/2/23 特別研究報告

研究目的

- リアルタイムマルチメディアアプリケーション
 - 例) テレビ会議, IP 電話
 - 遅延は変動しないのが望ましい

状態化するネットワークで遅延に関するサービス品質 (QoS : Quality of Service) 要求を満たすことは困難

- 通信経路上のルータでバッファリング・スケジューリングし、パケット間の遅延ゆらぎを抑制
 - 新たな機能を有する機器を多数配置 → 制御, 管理が困難
 - 決定論的制御 → 予期しない状態変化に弱い

アトラクタ摂動モデルを用いて遅延のゆらぎを効果的に活用し、状態変化に適応的、自律的かつ簡便なレート制御を目指す

2011/2/23 特別研究報告

アトラクタ摂動モデルと送信レート制御への適用

- アトラクタ摂動モデル
 - ゆらぎのあるシステムにおいて外力に対するシステムからの応答の変化量がシステムの変動の大きさに比例

$$\langle x \rangle_{a+\Delta a} - \langle x \rangle_a = b\sigma_a^2 \Delta a$$

Δa : 外力の変更量
 $\langle x \rangle_a$: 観測値の平均
 σ_a^2 : 観測値の分散
 b : 定数

アトラクタ摂動モデル	システム	ゆらぎ	外力a	システムの観測値x
生物[19]	代謝反応システム	熱ゆらぎなど	遺伝子表現型の変化	蛍光たんぱく質の量
送信レート制御	ネットワーク	トラヒック変動など	送信レート	RTT (Round Trip Time)

2011/2/23 特別研究報告

提案手法の送信レート更新方法

- RTT を目標値に変化させるために必要な送信レートの変更量を RTT の分散から推定することが可能

$$\langle x \rangle_{a+\Delta a} - \langle x \rangle_a = b\sigma_a^2 \Delta a$$

観測したRTTの平均値
観測したRTTの分散
送信レート変更量 Δa 算出

- RTTの分散が大きければ送信レートの変更は小さい
- RTTの分散が小さければ送信レートの変更は大きい

2011/2/23 特別研究報告

提案手法の動作の概要

1. 送信側端末はデータパケットを送信
2. 送信側端末は一定間隔で制御パケットを送信
3. 受信側端末から制御パケットの返信
4. 送信側端末は RTT を計測
5. 1~4を繰り返し、更新間隔ごとに RTT の平均、分散からアトラクタ摂動モデルを用いて送信レートを更新

インターネット

2011/2/23 特別研究報告 7

提案手法の動作の概要

1. 送信側端末はデータパケットを送信
2. 送信側端末は一定間隔で制御パケットを送信
3. 受信側端末から制御パケットの返信
4. 送信側端末は RTT を計測
5. 1~4を繰り返し、更新間隔ごとに RTT の平均、分散からアトラクタ摂動モデルを用いて送信レートを更新

インターネット

2011/2/23 特別研究報告 8

提案手法の動作の概要

1. 送信側端末はデータパケットを送信
2. 送信側端末は一定間隔で制御パケットを送信
3. 受信側端末から制御パケットの返信
4. 送信側端末は RTT を計測
5. 1~4を繰り返し、更新間隔ごとに RTT の平均、分散からアトラクタ摂動モデルを用いて送信レートを更新

インターネット

2011/2/23 特別研究報告 9

提案手法の動作の概要

1. 送信側端末はデータパケットを送信
2. 送信側端末は一定間隔で制御パケットを送信
3. 受信側端末から制御パケットの返信
4. 送信側端末は RTT を計測
5. 1~4を繰り返し、更新間隔ごとに RTT の平均、分散からアトラクタ摂動モデルを用いて送信レートを更新

インターネット

RTT 計測

2011/2/23 特別研究報告 10

提案手法の動作の概要

1. 送信側端末はデータパケットを送信
2. 送信側端末は一定間隔で制御パケットを送信
3. 受信側端末から制御パケットの返信
4. 送信側端末は RTT を計測
5. 1~4を繰り返し、更新間隔ごとに RTT の平均、分散からアトラクタ摂動モデルを用いて送信レートを更新

インターネット

送信レート更新

RTT の平均 $\langle x \rangle_a$

RTT の分散 σ_a^2

送信レート変更量 $\Delta\alpha$ 算出

2011/2/23 特別研究報告 11

シミュレーションで用いたネットワークモデルと定数b

- ノード数100のBA (Barabashi-Albert)トポロジ
 - 1組のノード間に提案手法
 - それ以外は TCP セッション
- $\Delta\alpha$ を 1 Mbps の変化として定数bの値を決定

$$b = \frac{\langle x \rangle_{a+\Delta\alpha} - \langle x \rangle_a}{\Delta\alpha \sigma_a^2}$$

- 送信レートaの値によらずbはほぼ一定

constant b

base CBR rate (Mbps)

2011/2/23 特別研究報告 12

目標 RTT の達成度

- 目標 RTT は TCP で得られる平均 RTT
- トポロジ、トラフィック量を変えて100回試行し、目標 RTT 達成の割合を評価

評価指標

平均二乗誤差

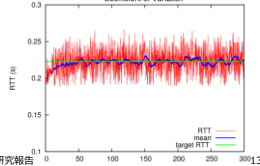
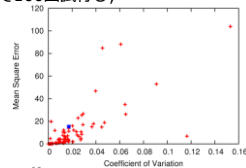
$$\frac{\sum(\text{目標値との差})^2}{\text{RTT移動平均の個数}}$$

変動係数

$$\frac{\text{RTTの移動平均の標準偏差}}{\text{RTTの移動平均の平均}}$$

原点に近いほど変動が小さく、
 目標 RTT との誤差も少ない

平均二乗誤差、変動係数が
 小さい割合が多い



2011/2/23

特別研究報告

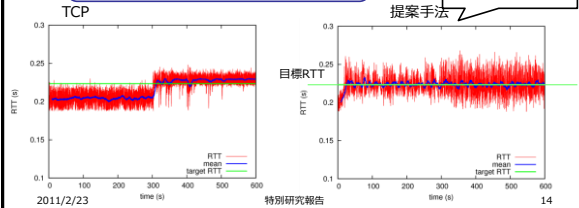
13

トラフィック変動への適応

- トラフィック変動前後の平均 RTT を観測
 - 300 s で TCP セッション数を 25 から 30 に増加
- TCP は平均 RTT が 11% 上昇 (0.2042 s → 0.2273 s)
- 提案手法は上昇しない (0.2233 s → 0.2239 s)

提案手法により目標 RTT を維持できる
 → 遅延に関する QoS 要求を満足

目標 RTT :
 300~600秒の
 TCP平均RTTの2%下



2011/2/23

特別研究報告

14

まとめ

- まとめ
 - アトラクタ摂動モデルを応用したエンド間の遅延を安定させる送信レート制御手法の提案と評価
 - シミュレーション評価により、以下を確認
 - バックグラウンドのセッション数が一定の場合
 - TCP と同程度の RTT を達成、維持できる
 - バックグラウンドのセッション数が変化する場合
 - RTT を安定させることができる場合を確認
- 今後の課題
 - ノード数やセッション数を増やした大規模ネットワークで評価
 - 定数bの自律的な設定方法の検討

2011/2/23

特別研究報告

15