

アトラクタ摂動モデルを応用したエンド間遅延の安定化を図る送信レート制御手法の提案と評価

監みどり 若宮直紀 村田正幸
 大阪大学

研究背景：ネットワークとゆらぎ

- ベストエフォート型のネットワーク
 - ネットワークの状態が変化
 - 同じ経路を通るセッションの数
 - トラフィック量の変化
 - ルーティングテーブル更新による経路の変更
 - 無線ネットワークにおけるリンク品質の変動

} ネットワークのゆらぎ

↓

- 通信特性が時々刻々と変化
 - 通信速度
 - 遅延
 - パケット棄却など

2011/7/21 IN研究会 2

研究背景：遅延に関する QoS 要求

- 遅延や遅延のゆらぎに関する サービス品質 (QoS : Quality of Service) 要求が厳しいアプリケーション
 - テレビ電話、動画ストリーミングなど
- 遅延のゆらぎを抑制、除去しようとする取り組み
 - 受信端末側でパケットのバッファリング
 - 通信経路上のルータでパケットの送出をスケジューリング

2011/7/21 IN研究会 3

研究目的

- 既存手法では事前の遅延変動の予測やトラフィック特性の申告が必要
 - ゆらぎにより大きな変化が生じると対応できない
- ネットワークの大規模化、複雑化
 - 遅延変動の予測が困難
 - 新たな機能を有する機器の配置により管理が困難

↓

遅延のゆらぎを効果的に活用する、状態変化に適応的で、自律的かつ簡便なエンド間でのレート制御

- アトラクタ摂動モデルを応用
 - 特殊なルータや機器の設置が不要
 - ネットワークの構造などの情報が不要

2011/7/21 IN研究会 4

アトラクタ摂動モデル

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.

- バクテリアの進化過程における蛍光タンパク質 (GFP) の量とその表現型の違いとの相関から導出
 - GFP の量の分散が大きい世代では 遺伝子表現型の変化によって GFP の平均質量が大きく変化

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

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

- 観測値の分散大きさに依存して観測値の変化量が異なる
- 分散の大きさを平均値を所望の値にするのに必要な外力が推定可能

2011/7/21 IN研究会

アトラクタ摂動モデルの送信レート制御への応用

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
バクテリア	代謝反応システム	熱ゆらぎなど	遺伝子表現型の変化	GFP の量
送信レート制御	情報ネットワーク	トラフィック変動など	送信レート	RTT (Round Trip Time)

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

目標RTT 予備実験により決定
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 の分散から 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推定することが可能

レートを上げ下げする発見的な探索が不要

2011/7/21 IN研究会 6

提案手法の動作概要

- データは Realtime Transport Protocol (RTP) を用いて送信
- RTT は RTP Control Protocol (RTCP) の SR と RR を用いて計測
- 送信側端末は前回の送信レート更新から I s 経過後, RR を受信したときに送信レートを更新
 - 過去 K 個分の RTT 計測値の平均と分散を用いて送信レートを決定

送信側端末
受信側端末
→ RTP
- - - Sender Report (SR)
- - - Receiver Report (RR)
RTT
送信レート更新
 I s 以上
送信レート更新
前回の更新

2011/7/21 IN研究会 7

提案手法の送信レート更新

- 送信レートの変更量 Δa を決定
 - アトラクタ摂動モデルの式を応用
 - 過去 K 個分の RTT 計測値の平均 \bar{t}_i と分散 σ_i
 - T は目標 RTT
 - レート変更の上限 Δ_{max} (+1 Mbps) と下限 Δ_{min} (-1 Mbps)
 - 急激なレート変更を抑制

$$\Delta a = \min \left(\Delta_{max}, \max \left(\Delta_{min}, \frac{T - \bar{t}_i}{b \sigma_i} \right) \right)$$

- 新たな送信レート a_{new} を設定
 - 送信レートの上限 a_{max} (9.9 Mbps) と下限 a_{min} (0.1 Mbps)
 - アプリケーションの定める送信レートの範囲

$$a_{new} = \min(a_{max}, \max(a_{min}, a + \Delta a))$$

2011/7/21 IN研究会 8

シミュレーション評価

- シミュレータ
 - ns-2.34
- シミュレーション評価の流れ
 - 評価モデルの設定
 - 予備評価による定数 b の決定
 - 同一モデルでのレート制御のシミュレーション

2011/7/21 IN研究会 9

評価モデル

- 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を動作 (着目セッション)
- バックグラウンドトラフィックとして残りのノード間で重複しないように TCP セッションを設定

パラメータ名	値
帯域	10 [Mbps]
伝搬遅延	10 [ms]
バッファサイズ	100 [パケット]
RTPパケットサイズ	1028 [byte]
SR/パケットサイズ	64 [byte]
RR/パケットサイズ	72 [byte]
TCPパケットサイズ	1040 [byte]
ACK/パケットサイズ	40 [byte]

2011/7/21 IN研究会 10

定数bの決定

- Δa を 1 Mbps の変化として定数 b の値を決定
 - 着目セッションにおいて提案手法の代わりに CBR トラフィックを 1 Mbps ごとに流す
 - バックグラウンドトラフィックとして, TCP セッションを残りの 49組のノード間に重複しないように設定
 - 外れ値を除く 732回のシミュレーション結果

$$b_i = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W \frac{\langle x \rangle_{i+1}^j - \langle x \rangle_i^j}{\sigma_i^j}$$

i : 送信レート (Mbps)
 j : トポロジ, セッションの組み合わせ
 W : シミュレーション回数

ばらつきはあるものの 100~200の範囲に収まっており b として100を用いる

2011/7/21 IN研究会 11

シミュレーションシナリオ

- 着目セッションで目標 RTT を達成, 維持できるか検証
- シミュレーション時間 600 s
 - 1 s までにバックグラウンドの TCP セッション25本が通信開始
 - 1 s に提案手法が通信開始
- シミュレーション中でバックグラウンドのセッション数を変化
 - 300 s で セッション数を25本から30本に増加
- トポロジ, トラフィックの組み合わせを変えて100回実行
- アプリケーションの許容できる変動の大きさを以下のように定義
 - 平均二乗誤差40以下
 - 変動係数0.06以下
 - 遅延ジッタ25 ms以下

2011/7/21 IN研究会 12

評価指標

- 平均二乗誤差 M : RTT の単純移動平均と目標 RTT の誤差の大きさ

$$M = \frac{1}{n-99} \sum_{k=100}^n (T_k - T)^2$$

- 変動係数 C : RTT の単純移動平均の安定度

$$C = \frac{1}{\bar{T}} \sqrt{\frac{1}{n-99} \sum_{k=100}^n (T_k - \bar{T})^2}$$

- 遅延ジッタ J : 目標 RTT と RTT の単純移動平均との最大誤差

$$J = \max_{100 \leq k \leq n} \{|T_k - T|\}$$

n : シミュレーションで観測された RTT の個数

T_k : k 個目の RR を受信したときの直近100 個の RTT の単純移動平均

T : 目標 RTT

\bar{T} : T_k ($100 \leq k \leq n$) の算術平均

2011/7/21

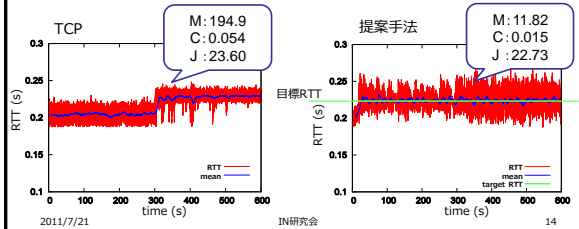
IN研究会

13

シミュレーション結果の例

- 着目セッションに TCP を用いた場合と提案手法を用いた場合を比較
 - TCP はセッション数変化の前後で平均 RTT が変動
 - 提案手法は目標 RTT を達成、維持
 - TCP を用いた場合の300~600秒の平均 RTT の98%

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

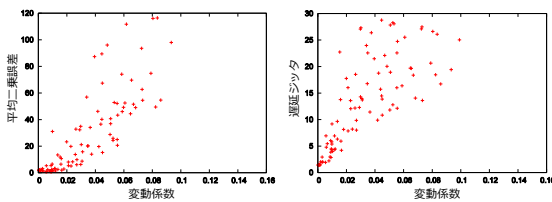


2011/7/21

IN研究会

14

シミュレーション結果



- 原点に近いほど、目標 RTT に近く、変動が少ない (左図)
- 原点に近いほど、目標 RTT との最大差が小さく、変動も少ない (右図)

シミュレーション100 回中、平均二乗誤差40以下、変動係数 0.06以下、遅延ジッタ25 ms以下という許容変動を満たすのは63%

2011/7/21

IN研究会

15

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、バックグラウンドのセッション数が変化する環境において、RTT を安定させることが可能な場合を確認
- 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の動的な設定方法の検討

2011/7/21

IN研究会

16