

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540032

研究課題名(和文)カオスの大域的な構造安定性を用いたネットワークリソースの効率運用アルゴリズム

研究課題名(英文)Effective usage algorithm for network resource by using macroscopic stability of strange attractor in chaos

研究代表者

會田 雅樹 (Aida, Masaki)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：60404935

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：情報ネットワークは重要な社会インフラであり、限られた資源を有効且つ公平に使用することが求められる。本研究では、カオスの構造安定性を用い、カオスのミクロな軌道の不安定性を用いてユーザの公平性を実現し、ストレンジアトラクタのマクロな安定性を用いてネットワーク資源の安定的な効率的利用を実現することのできる送信レート制御の枠組みを検討した。

具体的には、カオスを用いた新しい階層制御のコンセプトの提案、送信レート制御を例にした具体的な方式提案と評価、パラメータ設計法の確立、くりこみ群の観点からみた一般的な階層的ネットワーク制御の枠組みとしての基礎づけの実施、など基礎から応用まで幅広い成果を挙げた。

研究成果の概要(英文)：Since information networks are important infrastructure, we should use it efficiently and fairly. In this research, by using structural stability of chaos, a new framework of hierarchical control in networks is proposed and analyzed. In the proposed framework, fairness among users is guaranteed by the instability of the trajectory in chaos from the microscopic view, and simultaneously, efficiency and stability of the system performance is guaranteed by the structural stability of the strange attractor of chaos.

My research results include that a proposal of chaos-based new hierarchical control, a proposal of transmission rate control and its evaluation, method of parameter design, and proposal of fundamental modeling by using the concept of renormalization group.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：カオス 結合振動子 フロー制御 公平性 階層制御

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 情報ネットワークは重要な社会インフラであり、限られた資源を有効且つ公平に活用することが求められる。

(2) TCP 同期問題とは、バッファオーバーフローにより複数のフローに属するパケットの棄却が同時に起こるために生じるもので、ネットワーク資源の利用効率低下の原因となることが知られている。これを解決するには Random Early Detection (RED) の適用が有効であることが示されている。これは、転送バッファ内のパケットを決められた確率でランダムに棄却するため、パケット棄却のタイミングが同期しない。また、ウィンドウサイズの大きなフローのパケットが棄却されやすいので、公平性の向上効果も期待できる。しかし、確率的にはウィンドウサイズの小さなフローのパケット棄却は起こりうるので、公平性が十分に保てない可能性がある。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究は、結合振動子に現れるカオスの性質を利用することでユーザ間の公平性とネットワーク利用効率の両立を目指した送信レート制御を検討するものである。

(2) 本研究では、この問題の解決策として、結合振動子に現れるカオスを利用した送信レート制御を検討し、RED と同程度のネットワーク利用効率を保ちつつ、RED に比べて良好なユーザ間の公平性を実現することを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 利用効率と公平性を両立するための戦略は以下のとおりである。図1はカオスの典型例であるローレンツアトラクタの形状を示している。描かれている3次元

空間内の曲線は、状態の時間変化を追った軌跡を示しており、初期条件が僅かに異なる赤線と青線が、全く異なる軌道を描くことを示しており、ミクロな軌道レベルではランダムに見えるような不安定性を有している。一方で、この状態をマクロで眺めると、全体の形状としては非常に安定している。この2つの性質の共存性を、ネットワークの階層制御として応用し、ミクロレベルではユーザ毎にランダムに送信機会が与えられる公平性を確保し、マクロレベルではシステムの安定した利用効率を実現することを目指すものである。

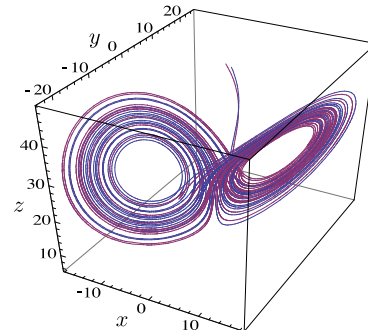


図1：ローレンツアトラクタ

(2) TCP の送信レート制御の振る舞いに近い緩和型振動子を対象にして、カオスが現れるような結合振動子のアルゴリズムを検討する。図2のようなネットワークモデルで、各端末がそれぞれ振動子を持ち、振動子の変位が送信レートに対応するものとする。図3は端末数が2台のときの結合振動子の振る舞いを示したものである。振動子の変位には上限があり、上限に達するとリセットされる。その際に、自分の送信レートの増加率は高く、もう一方の振動子の変位の増加率を低くするようなルールを与える。これにより、図1に示したローレンツアトラクタと同等のカオスが発生する。

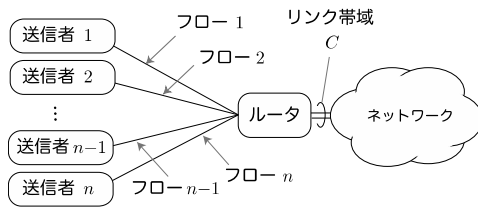


図 2 : ネットワークモデル

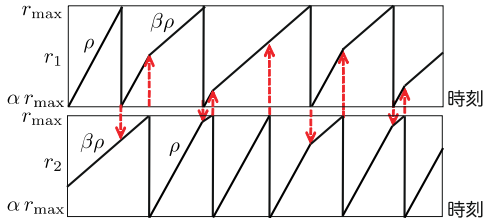


図 3 : 結合振動子の振る舞い

(3) 上記結合振動子の方法によって送信レートを定めるためには、各結合振動子の変位の上限値の値、即ち各フローの送信レートの上限値を適切に設計する必要がある。この課題を解決するため、送信レートの上限値を定めずにリンク帯域を考慮した送信レート制御方式を考察してその特性を調べ、その結果を利用して逆に送信レートの上限値を与える技術を考案した。

#### 4. 研究成果

(1) カオスのマイクロレベルの軌道の不安定性と、マクロレベルのストレンジアトラクタの形状の安定性を利用して、ネットワークの階層制御を実現する枠組みを提唱した。この結果は、雑誌論文に発表し、電子情報通信学会 第 11 回通信ソサイエティ論文賞を受賞した (H28.5.13)。

(2) カオスを利用した送信レート制御アルゴリズムを作るため、送信レートを結合振動子の変位としたアルゴリズムを考案し、基本動作特性を検証した。その結果、結合振動子の変位の上限値の設計がネットワークリソースの効率的な活用に本質的な影響を与えることが分かった。

(3) 結合振動子の変位の上限値の設計方法を確立するため、ネットワークリソースの効率的な活用の観点からは理想的である場合の、各フローが位相を等間隔でずらして同期する場合の送信レートを調べ、その値を用いて結合振動子の変位の上限値を設計する方法を考案した。

(4) カオスを用いた送信レート制御方式の性能を評価するため、パケットレベルのシミュレータを作成した。また、シミュレータを用いてパケットレベルのシミュレーションを実施し、ネットワークリソースの効率的な利用とユーザ間の公平性の観点から、提案方式が既存方式より優れた方式であることを確認した。

図 4 は図 2 のネットワークモデルでのスループットを、RED による方法と比較したものである。提案方式のスループットが高く、ネットワークリソースの利用効率の向上が実現していることが分かる。

図 5 は、ユーザ間の公平性を評価するため、平均スループットのフロー間でのばらつきを分散で評価したもので、値が小さいほど公平性が高い。提案方式は RED よりも高い公平性を実現していることがわかる。

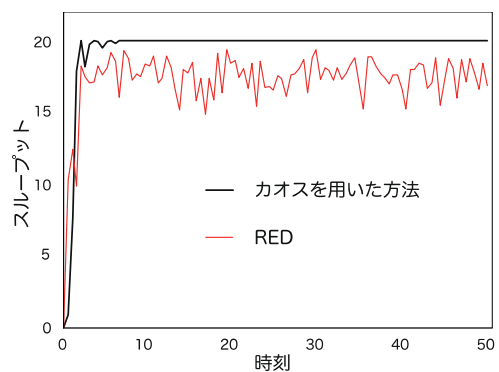


図 4 : スループットの評価

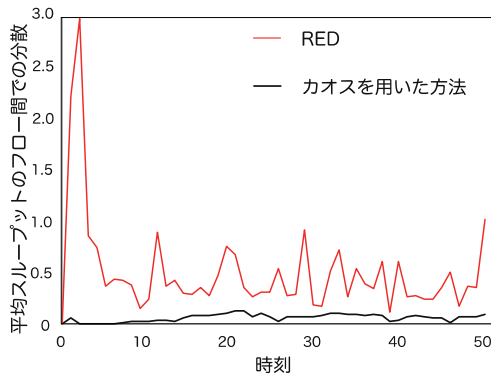


図5：平均スループットの分散

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2件)

Y. Sakumoto, C. Takano, M. Aida and M. Murata, ``Proof test of chaos-based hierarchical network control using packet-level network simulation,`` IEICE Transactions on Communications, vol. E99-B, no. 2, pp. 402-411, February 2016. (査読あり)

M. Aida, ``Concept of chaos-based hierarchical network control and its application to transmission rate control,`` IEICE Transactions on Communications, vol. E98-B, no. 1, pp. 135-144, January 2015. (査読あり)

〔学会発表〕(計 5件)

L. Yongchao, Y. Sakumoto, C. Takano and M. Aida, ``Parameter design for efficient link utilization in chaos-based transmission rate control,`` The Second International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'14) Workshop, Shizuoka, Japan, December 11, 2014. (査読あり)

劉永超, 作元雄輔, 高野知佐, 会田雅樹, ``カオスを利用した送信レート制御におけるリンク帯域を考慮したパラメータ設計法の検討,`` 2014年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-7-3, 2014年9月24日. (査読無し)

劉永超, 高野知佐, 会田雅樹, ``結合振動子に基づく送信レート制御技術におけるカオスを利用した分散制御法の検討,`` 2014年電子情報通信学会総合大会, BS-6-3, 2014年3月18日. (査読無し)

高橋 友里, 作元 雄輔, 高野 知佐, 会田雅樹, ``カオスを利用したレート制御方式のシミュレーション評価,`` 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報 IN2013-113, 2013年12月20日. (査読無し)

会田雅樹, ``情報ネットワークの階層的な制御に対するカオス的なアプローチ,`` アシユアランスシステム研究会, pp. 1-5, 2013年5月17日. (招待講演, 査読無し)

〔図書〕(計 1件)

会田雅樹, 「情報ネットワークの分散制御と階層構造」, 情報ネットワーク科学シリーズ第3巻, コロナ社, 230p, 2015.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://exmgaity.sd.tmu.ac.jp/~aida/>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

會田 雅樹 (AIDA, Masaki)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：60404935