

Osaka University

ゆらぎ原理を用いた VNT 制御におけるアトラクター集合の更新手法の提案

坂本 昂輝 大場 斗士彦 荒川 伸一 村田 正幸
大阪大学 大学院情報科学研究科

2016 / 6 / 24

Osaka University

仮想ネットワーク基盤への期待

- 新たなサービスの登場によるトラフィック需要の増大および変動
- 物理資源の一部を切り出し、仮想ネットワークを迅速かつ柔軟に提供

- 例：IP over WDM ネットワーク
 - WDM ネットワーク
 - OXC (光スイッチ) を経由し IP ルータ間に光パスを設定
 - 光パスによって VNT (Virtual Network Topology) : 仮想網を構築
 - IP ネットワーク
 - VNT 上に IP トラフィックを収容
 - VNT 制御：トラフィック環境の変動に応じて VNT を再構築

→ : 光パス
→ : 光ファイバー

Osaka University

VNT 制御アプローチ

- 従来の制御アプローチ：集中計算方式
 - VNT 制御を実行する管理ノードを設置
 - 管理ノードが全対地間トラフィック量を長期的に観測・収集
 - 収集した制御情報を使用し最適な VNT を計算
- 欠点
 - ネットワーク規模の拡大に伴い制御情報量や計算時間が増大
 - 要求変動に対する迅速かつ柔軟な対応が困難
- ゆらぎ原理にもとづく仮想ネットワーク制御
 - ネットワークの環境情報の正確性、緻密性が不要
 - 限られた情報で環境変動へ適応可能
 - 応用例
 - SDI (Software Defined Infrastructure) 向けの仮想ネットワーク制御：Kokikhoue, "Yuragi-based virtual network embedding method for software defined infrastructure with uncertain environments," Master's thesis, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, February 2016.
 - 光ネットワーク制御：[9] Y. Kokuni, T. Miyama, S. Akiwaka, E. Oki, K. Shimoto, and M. Murata, "Adaptive virtual network topology control based on attractor selection," Journal of Lightwave Technology, vol. 28, pp. 1720-1731, June 2010.

Osaka University

ゆらぎ原理 (アトラクター選択)

- 周囲の環境変動に対して柔軟な適応を可能とするモデル
- ダイナミクス
 - (環境変動 →) システムの状態が悪化 → 活性度低下 → ゆらぎによりシステム状態をランダムに変化 → 良いシステムの状態を発見 → 活性度向上 → アトラクターに収束

ゆらぎ方程式

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha + f(x) + \eta$$

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$: システムの状態
 α : 活性度 (システムの状態の良さ)
 f : 複数のアトラクターをもつ制御構造
 η : ゆらぎ (ノイズ)

Osaka University

ゆらぎ原理にもとづく VNT 制御 (ゆらぎ制御) [9]

- ゆらぎ原理にもとづき、各仮想リンクの設定状況を制御

ゆらぎ方程式

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha + f(x) + \eta$$

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$: VNT (各仮想リンクの設定状況)
 $x_i \geq 0$: i 番目の仮想リンクを設定
 $x_i < 0$: i 番目の仮想リンクを削除
 α : 活性度 (仮想ネットワーク上の通信品質)
 f : 複数のアトラクターをもつ制御構造
 η : ゆらぎ (ノイズ)

アトラクターの数には限度がある

↓

どのような VNT 候補をアトラクターとするかが重要

Osaka University

アトラクター設計手法 [11]

- VNT 候補をそのトポロジー特性をもとに群に分類し、各群から代表を 1 つずつ選出してアトラクターとする手法
 - トポロジー特性として、Edge Betweenness Centrality を使用
 - Edge Betweenness Centrality (エッジ媒介中心性)：そのリンクを通る全対地間の最短経路の数
 - Edge Betweenness Centrality の高いリンクがボトルネックリンク

ボトルネックとなるリンクが異なる VNT 候補をアトラクターとする

↓

多様なトラフィック変動に適応可能なアトラクターを設計可能

[11] T. Ohta, S. Akiwaka, Y. Nambu, and M. Murata, "Quick design method of attractors in heterogeneous virtual network topology control," IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, vol. 7, pp. 101-103, Sep. 2015.

Osaka University 7

研究の目的とアプローチ

- **既存手法の問題点**
 - 既存のアトラクター設計手法 [11] は、トポロジー特性にもとづいてアトラクターを設計する手法であるが、トラフィック状況によっては通信品質を改善するVNTを構築するまでの制御時間が増大する可能性
- **研究の目的：現在のトラフィック環境に適したアトラクター集合に更新し、ゆらぎ制御の制御回数を削減すること**
- **アプローチ**
 - アトラクター更新はゆらぎ制御よりも長周期が可能
 - 全対地間のトラフィック需要を長期的な観測により取得
 - オフラインシミュレーションによりアトラクター更新を実施

Osaka University 8

アトラクター集合の更新手法

- **用意したアトラクター候補の中から、現在のトラフィック環境により適したアトラクター集合を決定**
- **提案手法の手順**
 - 入力として、現在のトラフィック需要と複数のアトラクターを使用
 - 1. 各アトラクターを用いてゆらぎ制御のオフラインシミュレーション
 - 2. 制御成功率によりアトラクターのランク付け
 - 3. ランクの低いものから順にアトラクターを選出し、アトラクター集合を構築
 - 4. アトラクター制御構造を更新

Osaka University 9

事前準備

Osaka University 10

事前準備

Osaka University 11

1. ゆらぎ制御のオフラインシミュレーション

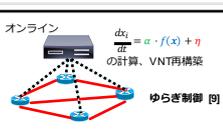
Osaka University 12

2. 制御成功率によりアトラクターのランク付け

Osaka University 13

3. アトラクター集合の決定

オンライン $\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot f(x) + \eta$ の計算、VNT再構築

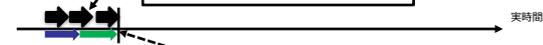


ゆらぎ制御 例

→ 次の更新までにトラヒック需要情報を取得

提案手法 入力するアトラクター

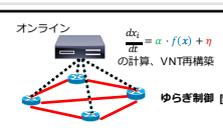
- 現在のトラヒック需要情報を用いて、ゆらぎ原理にもとづくVNT制御のオフラインシミュレーション
- アトラクター集合の決定
- 制御成功率の順位: Rank 1 Rank 2 Rank 3 Rank 4



Osaka University 14

4. アトラクター制御構造の更新

オンライン $\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot f(x) + \eta$ の計算、VNT再構築

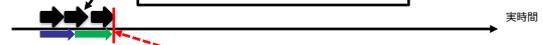


ゆらぎ制御 例

→ 次の更新までにトラヒック需要情報を取得

提案手法 入力するアトラクター

- 現在のトラヒック需要情報を用いて、ゆらぎ原理にもとづくVNT制御のオフラインシミュレーション
- アトラクター集合の決定
- 制御成功率の順位: Rank 1 Rank 2 Rank 3 Rank 4



Osaka University 15

4. アトラクター制御構造の更新

オンライン $\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot f(x) + \eta$ の計算、VNT再構築



ゆらぎ制御 例

$$f(x) = \zeta \left(\sum_j W_{ij} x_j \right) - x_i$$

$$W = X^+ X$$

X は各行に各アトラクターを記憶
 X^+ は X の擬似逆行列

→ 次の更新までにトラヒック需要情報を取得

提案手法 入力するアトラクター

- 現在のトラヒック需要情報を用いて、ゆらぎ原理にもとづくVNT制御のオフラインシミュレーション
- アトラクター集合の決定
- 制御成功率の順位: Rank 1 Rank 2 Rank 3 Rank 4



Osaka University 16

4. アトラクター制御構造の更新

オンライン $\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot f(x) + \eta$ の計算、VNT再構築



ゆらぎ制御 例

$$f(x) = \zeta \left(\sum_j W_{ij} x_j \right) - x_i$$

$$W = X^+ X$$

X は各行に各アトラクターを記憶
 X^+ は X の擬似逆行列

→ 次の更新までにトラヒック需要情報を取得

提案手法 入力するアトラクター

- 現在のトラヒック需要情報を用いて、ゆらぎ原理にもとづくVNT制御のオフラインシミュレーション
- アトラクター集合の決定
- 制御成功率の順位: Rank 1 Rank 2 Rank 3 Rank 4



Osaka University 17

4. アトラクター制御構造の更新

オンライン $\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot f(x) + \eta$ の計算、VNT再構築



ゆらぎ制御 例

$$f(x) = \zeta \left(\sum_j W_{ij} x_j \right) - x_i$$

$$W = X^+ X$$

X は各行に各アトラクターを記憶
 X^+ は X の擬似逆行列

→ 次の更新までにトラヒック需要情報を取得

提案手法 入力するアトラクター

- 現在のトラヒック需要情報を用いて、ゆらぎ原理にもとづくVNT制御のオフラインシミュレーション
- アトラクター集合の決定
- 制御成功率の順位: Rank 1 Rank 2 Rank 3 Rank 4



Osaka University 18

4. アトラクター制御構造の更新

オンライン $\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot f(x) + \eta$ の計算、VNT再構築



ゆらぎ制御 例

$$f(x) = \zeta \left(\sum_j W_{ij} x_j \right) - x_i$$

$$W = X^+ X$$

X は各行に各アトラクターを記憶
 X^+ は X の擬似逆行列

→ 次の更新までにトラヒック需要情報を取得

提案手法 入力するアトラクター

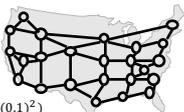
- 現在のトラヒック需要情報を用いて、ゆらぎ原理にもとづくVNT制御のオフラインシミュレーション
- アトラクター集合の決定
- 制御成功率の順位: Rank 1 Rank 2 Rank 3 Rank 4



Osaka University 19

評価環境

- 物理トポロジー
 - ノード数: 24
 - 各ノードのポート数: 10
 - リンク数: 86
- トラヒック環境
 - 現在のトラヒック需要: 対数正規乱数 $LN(3.5, (0.1)^2)$
 - トラヒック変動: 正規乱数 $N(0, \sigma^2)$ ($\sigma = 0.1, 1.6$)
- 評価指標
 - 解を発見するまでに要する VNT 制御回数
 - 解: 最大リンク利用率 0.5 以下となる VNT
- 評価対象
 - ϕ_{rank} : 提案手法によって得られたアトラクター集合
 - ϕ_{static} : 既存のアトラクター選択手法によって得られたアトラクター集合
 - 各集合に含まれるアトラクター数: 7個

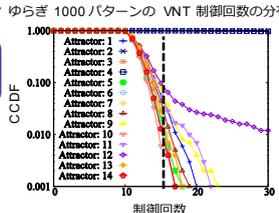


Osaka University 20

提案手法によるアトラクター集合の決定

- 各アトラクターを 1 つずつ独立にオフラインシミュレーション

▼ ゆらぎ 1000 パターンの VNT 制御回数の分布



設計した 14 個のアトラクターから現在のトラヒック環境に適した 7 個のアトラクターを選出

提案手法 $\phi_{rank} = \{10, 14, 6, 3, 5, 13, 7\}$
従来手法 $\phi_{static} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$

▼ 15 回のゆらぎ制御後の制御成功率

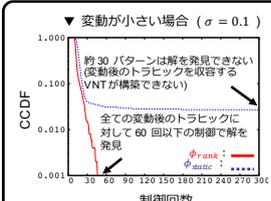
アトラクター	10	14	6	3	5	13	7
制御成功率 (%)	99.5	98.8	98.3	98.1	98.1	97.2	96.6
アトラクター	8	11	1	9	12	4	2
制御成功率 (%)	95.7	94.6	94.4	92.2	90.3	0.4	0.0

Osaka University 21

ゆらぎ制御の性能評価結果

▼ 1000 パターンのトラヒック変動を与えたときのゆらぎ制御の制御回数の分布

▼ 変動が小さい場合 ($\sigma = 0.1$)

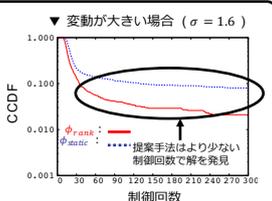


約 30 パターンは解を発見できない (変動後のトラヒックを収容する VNT が構築できない)

すべての変動後のトラヒックに対して 60 回以下の制御で解を発見

ϕ_{rank} : (red line)
 ϕ_{static} : (blue line)

▼ 変動が大きい場合 ($\sigma = 1.6$)



ϕ_{rank} : (red line)
 ϕ_{static} : (blue line)

提案手法はより少ない制御回数で解を発見

提案手法によるアトラクター集合に更新することで、ゆらぎ制御の制御回数を削減

Osaka University 22

まとめと今後の課題

- まとめ: アトラクター集合の更新手法を提案
 - アプローチ
 - アトラクター更新は長周期で実行可能
 - 環境情報としてトラヒック需要情報を取得
 - オフラインシミュレーションによりアトラクター更新を実施
 - 提案手法
 - 用意したアトラクター候補の中で現在のトラヒック環境に適したアトラクター集合を決定
 - 評価結果
 - 提案手法のアトラクター集合に更新し、トラヒック変動後の環境に素早く適応

ゆらぎ制御の制御回数の削減に成功

- 今後の課題
 - アトラクター間のトポロジー特性の差を考慮したアトラクター更新手法の検討
 - トラヒック需要情報が取得できない場合の対処

Osaka University 23

ゆらぎ原理にもとづく VNT 制御 (ゆらぎ制御)

- ゆらぎ原理にもとづき各仮想リンクの設定状況を制御
 - あらかじめアトラクター (VNT候補) を複数用意
 - トラヒック変動に応じて通信品質を改善する VNT (解) を再構築
 - アトラクターに引き込まれるように解を探索

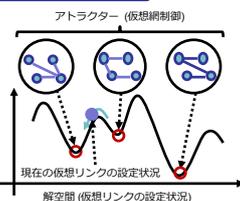
どのようなVNT候補をアトラクターとするかが重要

アトラクターを特二制御構造

ゆらぎ方程式 $\frac{dx_i}{dt} = x_i f(x_i) + \eta$

x_i : 活性化度 (仮想リンクの設定状況)
 $x_i \geq 0$: i 番目の仮想リンクを設定
 $x_i < 0$: i 番目の仮想リンクを削除
 α : 活性化度 (仮想ネットワークの状態の良し悪し)
 f : 複数のアトラクターをもつ制御構造
 η : ゆらぎ (ノイズ)

アトラクター (仮想制御)

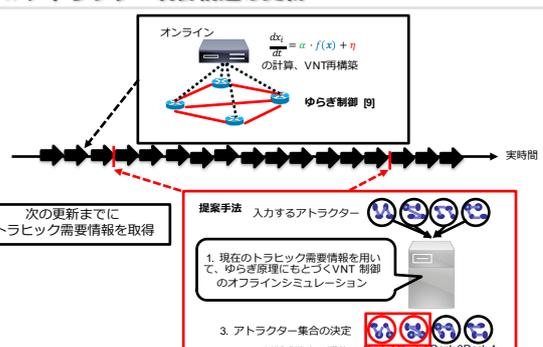


現在の仮想リンクの設定状況

解空間 (仮想リンクの設定状況)

Osaka University 24

4. アトラクター制御構造の更新



オンライン $\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot f(x_i) + \eta$ の計算、VNT再構築

ゆらぎ制御 [0]

実時間

次更新までにトラヒック需要情報を取得

提案手法 入力するアトラクター

- 現在のトラヒック需要情報を用いて、ゆらぎ原理にもとづくVNT制御のオフラインシミュレーション
- 制御成功率の順位: Rank 1 Rank 2 Rank 3 Rank 4
- アトラクター集合の決定

アトラクター集合の更新手法

- 設計したアトラクター候補の中から、現在のトラフィック環境により適したアトラクター集合を決定

提案手法の手順

- 入力として、現在のトラフィック需要と複数のアトラクターを使用
- 各アトラクターを用いてゆらぎ制御のオフラインシミュレーション
 - 制御成功率によりアトラクターのランク付け
 - ランクの高いものから順にアトラクターを選出し、アトラクター集合を構築
 - アトラクター制御構造を更新

