

Osaka University NTT

アトラクター構造の動的再構成による自己組織化制御の収束時間の改善

小泉 佑揮¹・宮村 崇²・荒川 伸一¹・鎌村 星平²
 島崎 大作²・塩本 公平²・村田 正幸¹

1) 大阪大学 大学院情報科学研究科
 2) 日本電信電話株式会社ネットワークサービスシステム研究所

管理型自己組織化ネットワークの概要

- ねらい：自己組織化制御による光インフラ網運用制御の簡易化
- 課題：資源競合の調停や想定外の環境変動への即応性を実現困難
- 目的：マネージドな自己組織化網アーキテクチャ確立

課題 1：大阪大学 ゆらぎによる仮想網の適応制御
 課題 2：NTT 動的リソース制御による仮想網の統合調停
 課題 3：電気通信大学 スケーラブルな仮想網制御のため情報収集方式

光インフラ網（物理網）

管理型自己組織化ネットワークの概要

- ねらい：自己組織化制御による光インフラ網運用制御の簡易化
- 課題：資源競合の調停や想定外の環境変動への即応性を実現困難
- 目的：マネージドな自己組織化網アーキテクチャ確立

本研究の位置づけ

- 個々の自己組織化制御のベースとなるアトラクター選択にもとづく適応的な仮想網制御手法から環境変動への即応性を改善
 - アトラクター構造の動的再構成
 - 制御の収束時間短縮

光インフラ網（物理網）

研究背景・研究目的

■ 環境変化に対する適応性を備えた仮想網制御 [1]

- アトラクター選択を応用した仮想網制御方式
 - アトラクター選択
 - ゆらぎを利用して環境変化に適応する生物の振る舞いをモデル化した数理モデル
 - さまざまな環境変化に対する高い適応性
 - トラフィック変動、リンク障害
 - 実用化に向けた課題
 - ゆらぎを利用しているため、既存方式と比較して制御の収束時間が長い
- 制御の収束時間の改善
 - 環境に応じてアトラクター構造を動的に再構成

[1] Y. Koizumi et al., "Adaptive virtual network topology control based on attractor selection," *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, vol. 28, pp. 1720-1731, June 2010. 4

アトラクター選択の基本動作

システムの挙動 $\frac{dx}{dt} = \alpha \cdot f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \eta$

アトラクターを持つ制御構造

ポテンシャル関数 $U(x)$
 $\dot{x} = -\nabla U(x) + \eta$

- 環境変化による α の低下
- η の影響が $f(x)$ に対して相対的に大きくなり、システムは η によって駆動する
- α が増加したとしてもアトラクターではないので、アトラクターの探索を続ける
- アトラクターでも、 α が低いので、他のアトラクターの探索を続ける
- α が高くなるアトラクターを発見
- $f(x)$ の影響が η よりも大きくなり、アトラクターに収束

システムの状態 (x) に引き寄せられる
 アトラクター
 ゆらぎ (η) による振動

アトラクター選択にもとづく仮想網制御

■ 仮想網制御のダイナミクス

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot \left(\zeta \left(\sum_j W_{ij} x_j \right) - x_i \right) + \eta \quad (1) \quad \zeta(z) = \frac{1}{1 + \exp(-\mu z)}$$

- α ：仮想網のコンディション（最大リンク利用率など）
 - α が大きい → 状態が良い
 - α が小さい → 状態が悪い
- x_i ： i 番目の光パスを制御
 - $0 < x_i < 0.5$ ： i 番目の光パスを削除
 - $0.5 \leq x_i < 1$ ： i 番目の光パスを設定

■ 構築される仮想網

- 式 (1) のアトラクター（均衡点） $[x_1, \dots, x_n, \dots]$ に対応する仮想網が構築される
- 式 (1) が適切なアトラクターを持つ必要がある

アトラクターと仮想網の関係

システムの状態
 $\frac{dx_i}{dt} = \alpha \left(\sum_j W_{ij} x_j - x_i \right) + \eta$
 アトラクターを持つ制御構造

環境変化に適応するためには、適切な仮想網を構築する必要がある

アトラクターと仮想網は、1対1に対応

アトラクター構造を適切に定義する必要がある

アトラクター構造の動的再構成

■ **アトラクター構造** ← アトラクター構造を決める項

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha \left(\sum_j W_{ij} x_j - x_i \right) + \eta$$

← アトラクター構造を決める制御パラメータ

- ホップフィールドネットワークと同じ構造
- **ヘブ則で任意の仮想網をアトラクターとする**
- 仮想網 ($x = [x_1, \dots, x_p, \dots]$) がアトラクターとなるように W_{ij} を定義

$$w_{ij}(x) = \begin{cases} (2x_i - 1) \cdot (2x_j - 1) & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad W_{ij} = \sum_{x_k \in G} w_{ij}(x_k)$$

■ **アトラクターにする仮想網の集合 G を動的に更新する**

- ゆらぎで駆動中 (システムの状態が悪い) に活性度 α が高くなった
- そのときの $x = [x_1, \dots, x_p, \dots]$ をアトラクターとする
- 環境に適した仮想網をアトラクターとして記憶する

8

シミュレーションモデル

- **物理ネットワーク**
 - European Optical Network (EON)
 - 19ノード、39リンク
- **物理ネットワークの制約**
 - トランスミッタ・レシーバ数: 8
- **環境変化**
 - トラフィック変動
- **評価指標**
 - 仮想網の最大リンク利用率の時間変化
 - アトラクター構造の動的再構成による収束時間の改善効果検証

9

制御の収束時間の短縮効果

Maximum Link Utilization

Time (Round)

With Reconfiguration

Without Reconfiguration

制御の収束時間を短縮 (平均22%の短縮)

トラフィック変動

10

まとめと今後の課題

- **管理型自己組織化ネットワークの概要**
 - 本研究の位置づけ
 - 自己組織化制御のベースとなるアトラクター選択にもとづく仮想網制御手法から環境変動への即応性改善を目指す
- **アトラクター選択を用いた仮想網制御の課題**
 - 環境変化に対する適応性を備えた仮想網制御
 - ゆらぎにもとづく制御であるため制御収束時間が長い
- **制御収束時間の改善**
 - アトラクター構造を現在の環境に応じて動的に再構成
- **シミュレーションによる性能評価**
 - 平均22%制御時間を改善
- **今後の課題**
 - より高速に仮想網を探索するゆらぎの検討

11