

Osaka University

## アトラクター選択を用いた仮想網制御手法の実機検証

水元 宏治\* 荒川 伸一\* 小泉 佑揮\* 鎌村 星平\*\*  
 島崎 大作\*\* 森 弘樹\*\* 笹山 浩二\*\* 村田 正幸\*

\*大阪大学 大学院情報科学研究科  
 \*\*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

Osaka University

## IP-over-WDM ネットワークと仮想網制御

- IP ネットワーク
  - ルーター間の通信需要を仮想網を用いて転送
  - 仮想網: 光バスにより構成される論理トポロジー
- WDM (波長分割多重) ネットワーク
  - 光バスを OXC (光スイッチ) 経由でルーター間に構築
- 仮想網制御
  - 通信需要の変動や通信機器の故障時に、適切な仮想網を再構築
  - アトラクター選択を用いた仮想網制御手法 [6]
    - 計算オーバーヘッドが大

[6] Y. Koizumi, T. Miyamura, S. Arakawa, E. Oki, K. Shiomoto, 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

## 研究の目的と手順

- 研究の目的
  - 従来のアトラクター選択を用いた仮想網制御手法の計算オーバーヘッド削減手法の提案と評価
  - 従来手法は、1000 ノード規模の物理トポロジーを対象としたとき、約 15 分必要
  - 1000 ノード規模の物理トポロジーを対象として、仮想網算出時間を数秒以下とすることを目標 (短い時間間隔で仮想網の再構築が可能)
- 研究の手順
  - 計算オーバーヘッド削減手法の提案 [5]
  - シミュレーション評価 [5]
    - 1000 ノード規模の物理トポロジーにおいて 1 秒以内に仮想網を算出
    - 計算量を削減しつつ、従来手法のもつ環境変動に対する適応性を維持
  - 実機検証
    - 実機で構成されるネットワーク上で機能するか検証

[5] K. Mizumoto, S. Arakawa, Y. Koizumi, D. Shimazaki, T. Miyamura, S. Kamamura, K. Shiomoto, A. Hiramatsu, and M. Murata, "A Distributed Control of Virtual Network Topologies by Using Attractor Selection Model," in *Proceedings of Nonlinear Theory and its Applications*, Oct. 2012.

Osaka University

## アトラクター選択を用いた仮想網制御手法 [5,6]

- 生物システムが未知の環境変動に適応し、コンディションを回復するモデル (アトラクター選択) を仮想網制御に適用
- アトラクター選択のシステムダイナミクス

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot \frac{\text{活性度 (通信品質)}}{\text{アトラクターを持つ制御構造 (決定的制御)}} (\zeta(\sum W_{ij} x_j) - x_i) + \eta \cdot \text{ゆらぎ (ノイズ)}$$

$x_i$ : 光バス  $l_i$  の状態変数  
 $x_i$  の値により  $l_i$  を構築するか決定

活性度の大小に応じてシステムの挙動が決定

Osaka University

## アトラクター選択の基本動作

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot \frac{\text{活性度}}{\text{決定的制御}} (\zeta(\sum W_{ij} x_j) - x_i) + \eta \cdot \text{ゆらぎ}$$

アトラクター: 解空間上の均衡点

仮想網 ( $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ )

Osaka University

## アトラクター選択の基本動作 (活性度大)

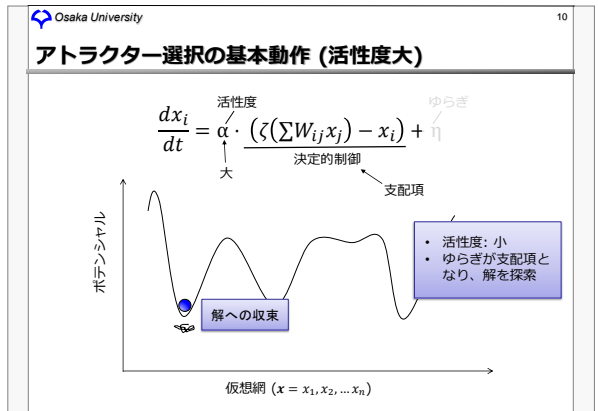
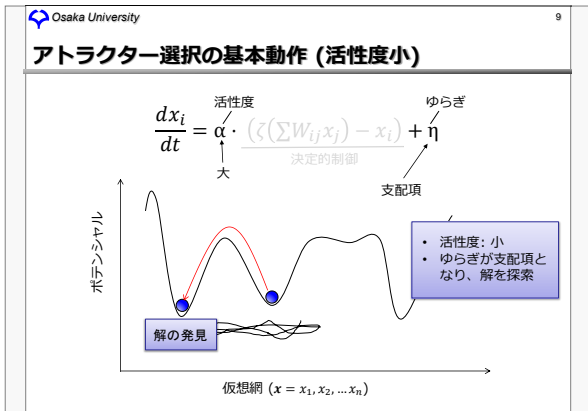
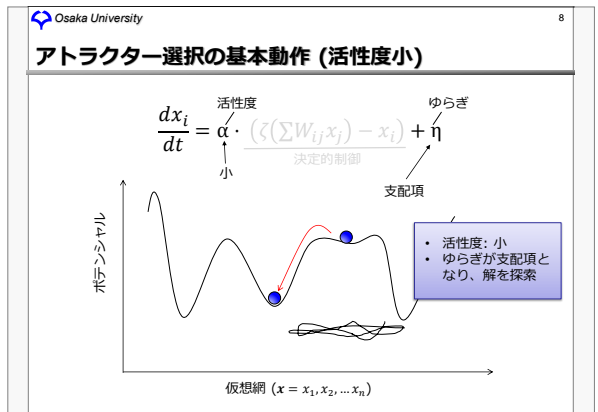
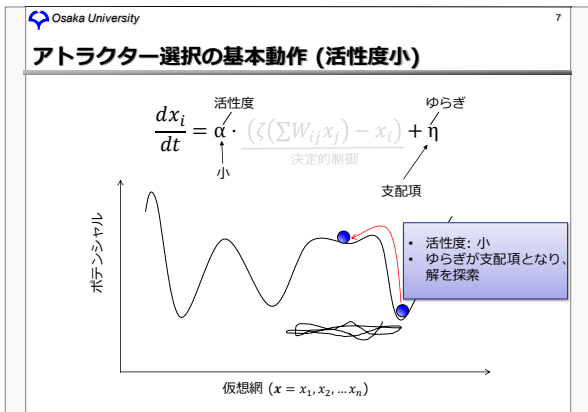
$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot \frac{\text{活性度}}{\text{決定的制御}} (\zeta(\sum W_{ij} x_j) - x_i) + \eta \cdot \text{ゆらぎ}$$

活性度: 大

決定的制御が支配項となり、アトラクターに収束

現在の仮想網

仮想網 ( $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ )



Osaka University 11

### 計算オーバーヘッドの削減方法 [5]

[5] K. Mizumoto, S. Arakawa, Y. Koizumi, D. Shimazaki, T. Miyamura, S. Kamamura, K. Shiomoto, A. Hiramatsu, and M. Murata, "A Distributed Control of Virtual Network Topologies by Using Attractor Selection Model," in proceedings of *Nonlinear Theory and its Applications*, Oct. 2012.

- $x_i$  を計算する際に用いる  $x_j$  を削減
- $x_i$  と同じノードを起点とし、ツリー構造をとる  $x_j$  のみ計算に利用
- 従来はすべての  $x_j$  を利用

システムのダイナミクス

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot (\zeta(\sum W_{ij}x_j) - x_i) + \eta$$

(a) 従来手法 (b) 提案手法

- 仮想網算出の計算量を  $O(n^4)$  から  $O(n^3)$  へ削減
- 1000ノード規模の物理トポロジーにおいて1秒以内に仮想網を算出
- 計算量を削減しつつ、従来手法の柔軟環境変動に対する適応性を維持

Osaka University 12

### 実装評価

- 提案手法を実機検証
  - ルーター: Juniper MX5, MX10 (OS: Junos OS 11.4R6.6)
  - OXC: Glimmerglass System 100
- 環境設定
  - 物理トポロジー
    - 7 台のルーター、10 台の OXC (1 台を論理分割)、ファイバーにより構成
  - 光バス
    - 帯域: 1 Gbps
    - 経路を事前に静的割り当て
  - ルーティングプロトコル
    - OSPF v2 (Open Shortest Path First version 2)
- 仮想網制御サーバー
  - 制御間隔を 15 秒とする。
  - 15秒ごとに、最大リンク利用率、パケット廃棄レートを活性化度に変換し、仮想網を算出、再構築

制御サーバー 実験で用いた物理トポロジー

Osaka University 13

### 制御間隔の設定

- 制御間隔が短いと、短い時間間隔で仮想網再構築が可能
- しかし、短いと、取得するネットワーク情報の誤差大

| 制御間隔 (秒) | 誤差の平均   | リンク利用率の標準偏差 |
|----------|---------|-------------|
| 5        | 0.069 大 | 0.084       |
| 10       | 0.072   | 0.049       |
| 15       | 0.023 小 | 0.028       |
| 30       | 0.022   | 0.026       |
| 60       | 0.014   | 0.007       |

リンク利用率の算出方法

- 制御間隔の間に流れたトラフィック量をその時間で割り、さらに光バスの帯域で割る
- トラフィック量は、SNMPにより得られるカウンタ値の2計測時の差をとることで算出

SNMP: Simple Network Management Protocol

計測環境: 400 Mbps の 2 つの UDP フローが転送されるリンクの利用率を算出し、理論値との誤差を求める。表では 100 回の平均値を示している。

誤差を十分小さく抑えられる15秒に制御間隔を設定

Osaka University 14

### OSPF の振る舞いとそれを考慮した実装

- 仮想網再構築後、OSPF により経路表の再作成が行われ、その間トラフィックが転送されない。
- OSPF の設定
  - Junos ルーターのデフォルト設定に対して以下の変更を行う。
    - retransmit-interval: 1秒、hello-interval: 1秒、dead-interval: 4秒
- OSPF の処理内訳

| 処理内容                      | 処理時間      |
|---------------------------|-----------|
| 1. 隣接ノード間と隣接状態の確立         | 約 0.83 秒  |
| 2. 代表ノードの選定               | 約 4.06 秒  |
| 3. 経路表再作成 (LSA 交換、SPF 計算) | 約 6.08 秒  |
| 合計                        | 約 10.97 秒 |

計測環境: 仮想網の再構築を行い、OSPF のログを解析。表では 5 回の平均を示している。

約11秒間トラフィックが転送されない

LSA: Link State Advertisement  
SPF: Shortest Path First

経路表再作成に必要な11秒を除外して、ネットワーク情報の取得を行う。仮想網が再構築された場合、制御間隔は、11 秒 + 15 秒となる。

Osaka University 15

### パケット廃棄レートのフィードバック

- ルーター間の接続性が失われている状態を防ぐために利用
  - ルーター間の接続性が失われると、パケット廃棄が発生する。
  - パケット廃棄レートが閾値を超え、ルーター間の接続性が失われていると解釈し、活性度を 0 にする。
- パケット廃棄レート
  - 制御間隔の間に廃棄されたパケット量をその時間で割ったもの。
- パケット廃棄レートの求め方
  - SNMP により得られる廃棄パケット量を示すカウンタ値を利用
  - ルーター独自に管理する廃棄パケット情報を利用
  - SNMP により得られる入力パケット量を示すカウンタ値の総和と出力パケット量を示すカウンタ値の総和の差を利用

実験では、c. 方式を用いてパケット廃棄レートを求める。

- a. 方式では、必要なカウンタ値を Junos ルーターが未提供。
- b. 方式では、ルーターに直接ログインする必要があり処理時間が長い。

事前調査で誤差が 100 Mbps ほど生じることがあったため、閾値を 100 Mbps に設定。

Osaka University 16

### 実験シナリオ

- 環境変動により最大リンク利用率が増加
- その後提案手法により仮想網を再構築
- 最大リンク利用率を 0.5 以下に抑制

- 対象とする 3 つの環境変動
  - トラフィック変動 (シナリオA)
  - 単一 OXC 障害 (シナリオB)
  - 複数 OXC 障害 (シナリオC)
- 様々な初期条件を与えた場合でもシナリオ通りになるかを評価するために、初期仮想網を 10 パターン変えて実験を実施

Osaka University 17

### シナリオC (複数 OXC 障害)

(a) 初期仮想網

(b) OXC 障害

(c) トラフィックの変動による遅延

(d) 期待される仮想網

Osaka University 18

### 最大リンク利用率の時間変動: シナリオC (1)

最大リンク利用率、パケット廃棄レートを閾値以下に抑える仮想網

最大リンク利用率 (左軸)

パケット廃棄レート (右軸)

時刻 (分)

解の探索

解の発見と収束

Disconnected Path

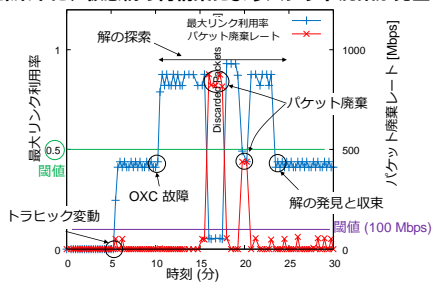
OXC 故障

トラフィック変動

閾値 (100 Mbps)

## 最大リンク利用率の時間変動: シナリオC (2)

- 別の初期仮想網を与えた場合
- 解の探索中に、仮想網の再構築によりパケット廃棄が発生



## まとめと今後の課題

### まとめ

計算オーバーヘッドを削減したアトラクター選択を用いた仮想網制御手法の7ルーター規模の実機検証

- トラフィック変動、単一 OXC 障害、複数 OXC 障害に対して適応することを示した。
- パケット廃棄レートを新たに活性度に取り入れ、有効性を示した。
- SNMP で得られる情報には誤差があり、情報の取得間隔により誤差の大小が生じるという知見を得た。
- 仮想網再構築後、OSPF による経路表再作成が行われ、その間トラフィックが転送されないという知見を得た。

### 今後の課題

- 提案手法の収束時間の改善
  - アトラクターを持つ制御構造の設計方法の検討
- 上位層ルーティングプロトコルの振る舞いを考慮した実装が必要
  - OSPF を用いた場合、仮想網再構築後約 11 秒間トラフィックが転送されなかった。