

アトラクター選択にもとづく仮想網制御の実装と実証実験によるトラフィック変動に対する適応性の評価

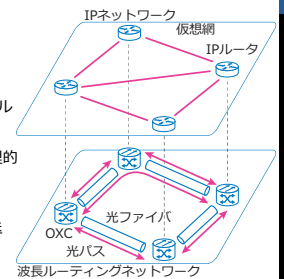
小泉 佑揮¹・荒川 伸一¹・鎌村 星平²・島崎 大作²・
笹山 浩二²・村田 正幸¹

- 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

波長ルーティングネットワークと仮想網制御

■ 波長ルーティングネットワーク

- WDMネットワーク
 - 光バスを設定
 - 波長によって構成される通信チャネル
- 仮想網
 - 電気ルータ光バスにより構成される論理的なトポロジ
- IPネットワーク
 - 論理トポロジを用いてトラフィックを転送

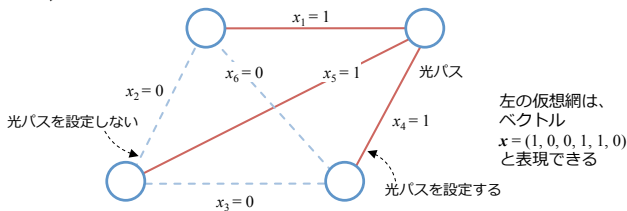


■ 仮想網制御

- 目的に応じて適切に論理トポロジを構築
 - トラフィックの効率的な収容
 - ネットワーク資源の効率的な利用

仮想網制御

- $x_i \in \{0, 1\}$: 光バス i を設定するかどうかを決める変数
 - $x_i = 1$: 光バスを設定する
 - $x_i = 0$: 光バスを設定しない



左の仮想網は、ベクトル $x = (1, 0, 0, 1, 1, 0)$ と表現できる

仮想網設計 ⇔ 制約を満たしつつ目的を達成する x_i を求める

ネットワーク上で生じる環境変化

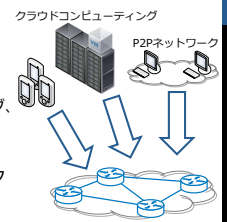
■ 適応性を備えたネットワークの必要性

- インターネットの浸透、モバイル機器の普及
- 新たなアプリケーションの出現
 - P2Pネットワーク、クラウドコンピューティング、オーバーレイネットワーク

■ 既存研究

- 特定的环境変化を想定したヒューリスティック
 - 緩やかで周期的なトラフィック変化
 - 小規模な障害 (単一～数本のリンク障害など)

■ 性能の最適化だけでなく環境変化に対する適応性を備えた仮想網制御が必要



環境の変化に対する適応性を備えた生物の振る舞いに注目



アトラクター選択にもとづく仮想網制御

アトラクター選択に基づく仮想網制御

■ 環境変化に対する適応性を備えた仮想網制御

- 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
- トラフィック変動に対する高い適応性
- ネットワーク上の環境変動
 - トラフィック変動
 - ネットワーク機器の障害

■ アトラクター選択に基づく仮想網制御の適応性評価

- 同時多発的に発生する大規模ノード障害に対する適応性を評価

アトラクター選択

■ アトラクター選択

- 未知の環境変化に対する生物の適応性をモデル化
 - 例: 大腸菌の環境変化に対する適応性
- システムの動作を決定する3つの要素

- ゆらぎ
- アトラクターを持つ制御構造
- 活性度 (コンディション)

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \eta_i$$

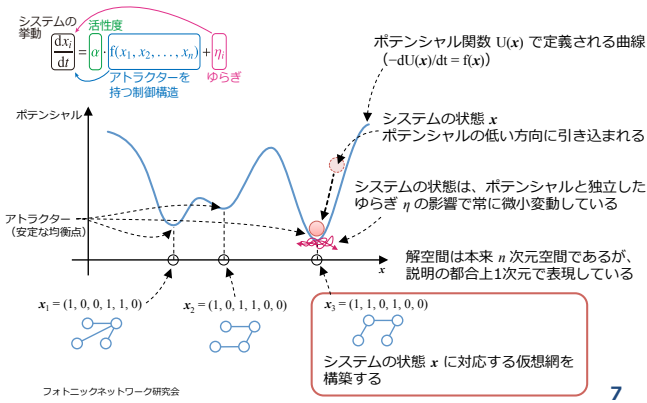
システムの挙動 (活性度) = アトラクターを持つ制御構造 (活性度) + ゆらぎ

アトラクター選択の基本式

- ゆらぎとアトラクターを持つ制御構造がシステムの挙動に与える影響を活性度に応じて制御

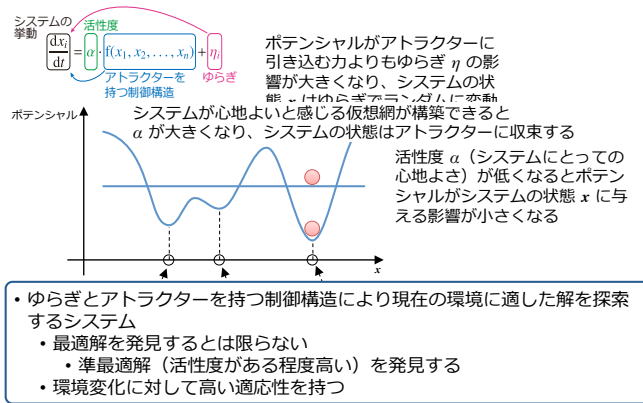
⇒ 環境変化に対する適応性を実現

アトラクター選択と仮想網制御

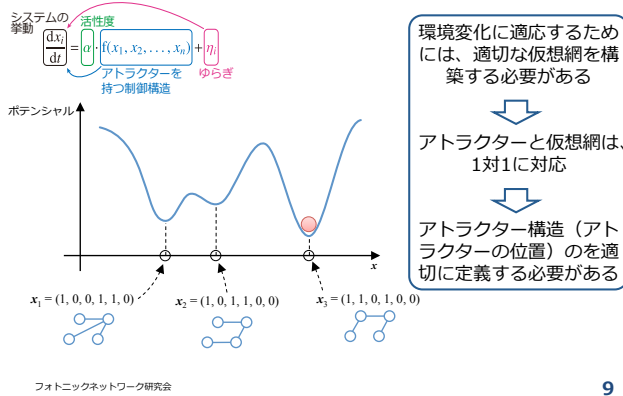


7

アトラクター選択と仮想網制御

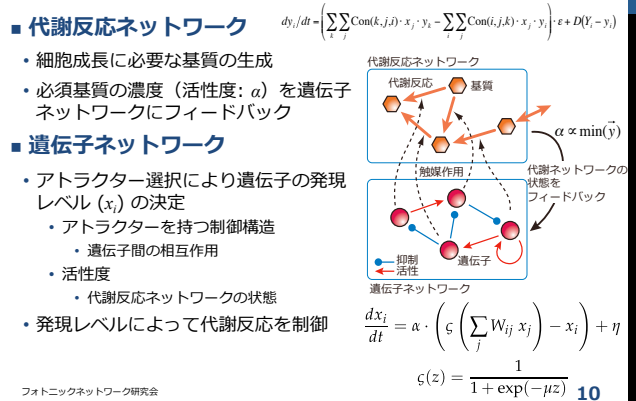


アトラクター選択と仮想網制御

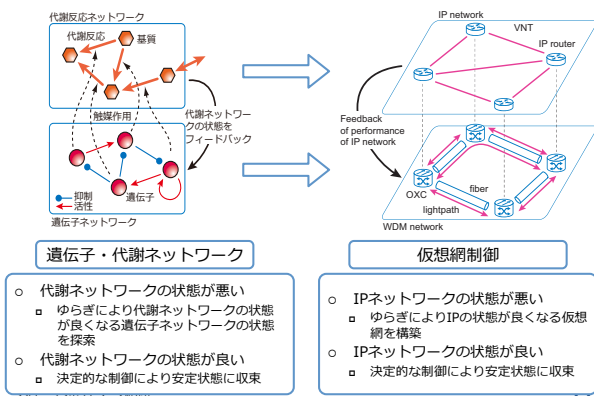


9

細胞内の遺伝子・代謝ネットワークにおけるアトラクター選択

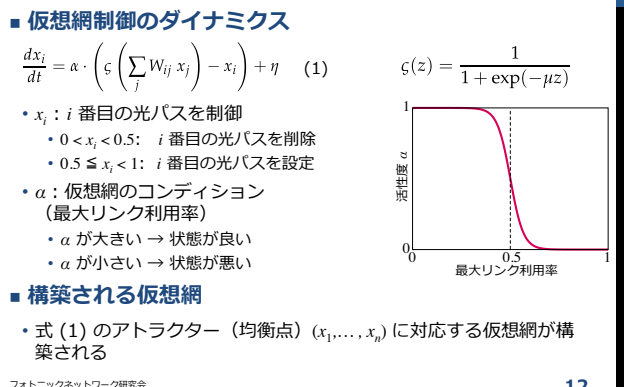


アトラクター選択の仮想網制御への適用



11

アトラクター選択に基づく仮想網制御



12

アトラクターの定義

■ アトラクター構造

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

- W_{ij} : アトラクター構造を決める制御パラメーター
- ホップフィールドネットワークと同じ構造

■ ホップフィールドネットワークの知見を利用して任意の仮想網をアトラクターとする

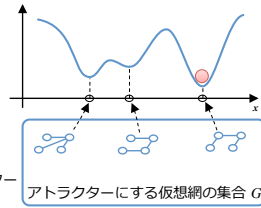
- 仮想網の集合 $G (G \ni x_k = (x_k^{(1)}, \dots, x_k^{(N)}))$ がアトラクターとなるように $W = \{W_{ij}\}$ を定義

$$W = X^* X \quad \begin{array}{l} X: x_k \in G \text{ を行とする行列} \\ X^*: X \text{ の疑似逆行列} \end{array}$$

- W_{ij} の定義に用いた仮想網集合 G のいずれかの仮想網しか構築されない
- 環境変化に対して適応的に仮想網を構築できるとは言えない



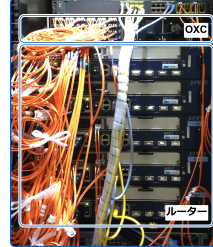
- アトラクター構造の動的再構成
- アトラクター構造を環境に応じて動的に再構成する



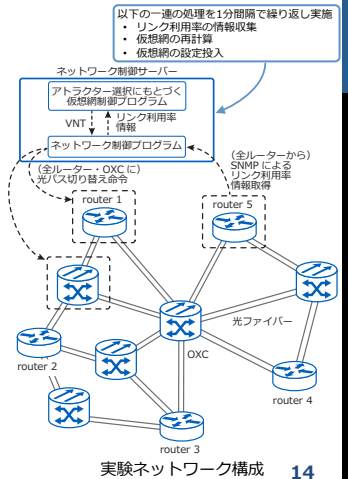
実証実験の概要

■ 実験機材・構成

- 5 IPルーター
 - Juniper MX5/MX10
 - インターフェース: 1000Base-LX
- 5 光コネクタスイッチ
 - Glimmerglass System 100



フォトニックネットワーク 実験機材

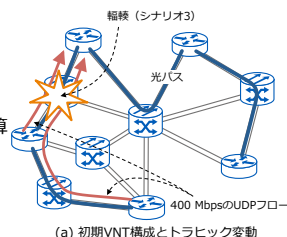


実験ネットワーク構成 14

実験シナリオ

■ 実験の流れ

1. 実験開始から10分後にrouter2からrouter1に400 MbpsのUDPフローの送信を開始する
2. 実験開始から15分後にrouter3からrouter1に400 MbpsのUDPフローの送信を開始する
3. router1ーrouter2間の光パスの利用率が0.8 (輻輳状態) になる
4. リンク利用率の増加を活性度の低下としてゆらぎ制御にフィードバックする
5. ゆらぎ制御による仮想網の再計算



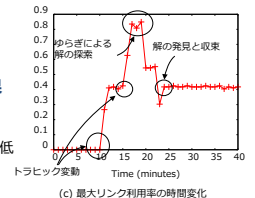
(a) 初期VNT構成とトラフィック変動 (シナリオ1~3) 15

フォトニックネットワーク研究会

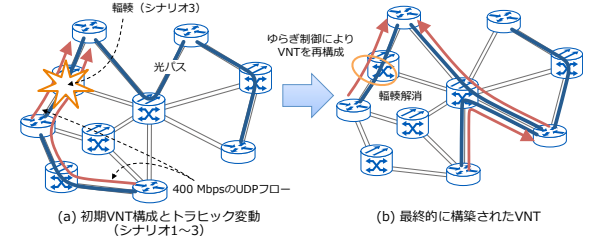
実験結果

■ アトラクター選択による輻輳回避の結果

- 実験開始から15分のトラフィック変動により最大リンク利用率が0.8に上昇
- 6回の仮想網再構築により最大リンク利用率が低い仮想網を構築
- 輻輳を解消し最大リンク利用率を0.4に下げた



(c) 最大リンク利用率の時間変化



フォトニックネットワーク研究会

16

まとめと今後の課題

■ 環境変化に対する適応性を備えた仮想網制御

- アトラクター選択を用いた仮想網制御

■ 実証実験によるトラフィック変動に対する適応性の検証

- 実環境でも短時間でトラフィック変動に対して適応的に仮想網を構築できることを示した
 - 10回以内の仮想網再構築でトラフィック変動に適應完了
 - 5ノードの小規模ネットワークでの実験

■ 今後の課題

- 実験ネットワークの規模の拡大
- ノードやリンク障害など他の環境変動に対する適応性の評価

フォトニックネットワーク研究会

17