



Osaka University NTT

### アトラクター選択の仮想網制御への適用

**仮想網制御**

- IPの状態が悪い
  - ゆらぎによりIPの状態が良くなる仮想網を構築
- IPの状態が良い
  - 決定的な制御により安定状態に収束

**遺伝子・代謝ネットワーク**

- 代謝ネットワークの状態が悪い
  - ゆらぎにより代謝ネットワークの状態が良くなる遺伝子ネットワークの状態を探索
- 代謝ネットワークの状態が良い
  - 決定的な制御により安定状態に収束

Osaka University NTT

### アトラクター選択を用いた仮想網制御の概要

- アトラクター選択を用いた仮想網制御の特徴**
  - ゆらぎによる環境変化に対する適応性
  - 少ない情報による動作
    - 生物は十分な情報伝達的手段を持たない
    - ゆらぎとシンプルなフィードバックにより動作
    - 直接取得可能なリンク利用率のみを利用
      - 変化に素早く反応する
- 仮想網制御の動作**
  - 定期的なリンク利用率の計測
  - アトラクター選択によるシステム状態の決定
  - 仮想網の再構築

Osaka University NTT

### アトラクター選択を用いた仮想網制御の概要

- 遺伝子・代謝ネットワークと仮想網制御の対応**
  - 代謝ネットワーク → IPネットワーク
    - 最大リンク利用率をシステムコンディションを表す指標として利用
  - 遺伝子ネットワーク → WDMネットワーク
    - 遺伝子を全ノードペア ( $p_{ij}$ ) に設置
    - 遺伝子の発現レベル ( $x_{p_{ij}}$ ) によってノードペア間に設定する光バス数決定
      - $x_{p_{ij}}$  が大きい → 光バスを多く設定
      - $x_{p_{ij}}$  が小さい → 光バスを少なく設定
    - 発現レベル ( $x_{p_{ij}}$ ) のダイナミクス
      - 発現レベル (光バス数の決定)
 
$$\frac{dx_{p_{ij}}}{dt} = \alpha \cdot \text{sig} \left( \sum_{p_{sd}} W(p_{ij}, p_{sd}) \cdot x_{p_{sd}} - \theta_{p_{ij}} \right) - x_{p_{ij}} + \eta$$

Osaka University NTT

### 決定的な制御 -アトラクター選択を用いた仮想網制御-

- 仮想網制御のダイナミクス**
  - 発現レベル (光バス数の決定)
 
$$\frac{dx_{p_{ij}}}{dt} = \alpha \cdot \text{sig} \left( \sum_{p_{sd}} W(p_{ij}, p_{sd}) \cdot x_{p_{sd}} - \theta_{p_{ij}} \right) - x_{p_{ij}} + \eta$$
  - 決定的な制御
    - ゆらぎ
- 決定的な制御**
  - 遺伝子間の抑制・活性の相互作用により決定
  - 制御行列  $W(p_{ij}, p_{sd})$ 
    - $p_{sd}$  が  $p_{ij}$  を活性
      - 正の値
    - $p_{sd}$  が  $p_{ij}$  を抑制
      - 負の値
    - $p_{sd}$  と  $p_{ij}$  に関係が無い
      - ゼロ

Osaka University NTT

### 決定的な制御 -アトラクター選択を用いた仮想網制御-

- 遺伝子間の活性・抑制 = 光バス数の増加・減少**
  - トラヒックの迂回**
    - 新たな光バスの追加 → 活性
      - ノードペア  $p_{ij}$  は  $p_{ij}$  の光バスの経路上のノードペアから活性される
      - トラヒックの  $p_{ij}$  上の光バスへの迂回を促進
  - 効率的なトラヒックの転送**
    - 経路上の光バスの増加 → 活性
      - 同一経路上に存在する光バスに対応する遺伝子は互いに活性される
  - 光ファイバの共有**
    - 光バスの減少 → 抑制
      - ノードペア  $p_{ij}$  と  $p_{sd}$  の光バスが同じ光ファイバを共有している場合に互いに抑制される

Osaka University NTT

### 活性度 -アトラクター選択を用いた仮想網制御-

- IPネットワークの状態**
  - IPネットワークの最大リンク利用率
    - 他の指標でも動作可能
- 活性度の定義**
  - 最大リンク利用率が  $\zeta$  以下 (IPの状態が悪い)
    - 活性度を急激に低下させる
    - ゆらぎによる新たな仮想網の構築を促進
  - 最大リンク利用率が  $\zeta$  以上 (IPの状態が良い)
    - 活性度を緩やかに増加させる
    - IPネットワークの状態がより良くなる仮想網に収束させる

Osaka University NTT

### 仮想網の構築 -アトラクター選択を用いた仮想網制御-

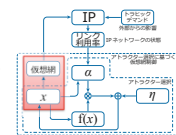
- 各ノードペアの光パス数の決定
  - 遺伝子の発現レベル (x) に応じて決定
  - 物理ネットワークの資源を x に応じて分配
    - トランスミッタ数 (P<sub>T</sub>) レシーバ数 (P<sub>R</sub>)
  - ノードペア p<sub>ij</sub> の光パス数 G<sub>p<sub>ij</sub></sub>

$$G_{p_{ij}} = \min \left( \left\lfloor P_R \cdot \frac{x_{p_{ij}}}{\sum_{i,j} x_{p_{ij}}} \right\rfloor, \left\lfloor P_T \cdot \frac{x_{p_{ij}}}{\sum_{i,j} x_{p_{ij}}} \right\rfloor \right)$$

ノード j のレシーバを使う  
ノードペアの x の和に対する  
x<sub>p<sub>ij</sub></sub> の比率

floorによる整数化

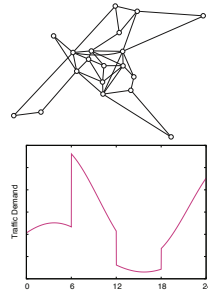
トランスミッタとレシーバの制約に対して  
小さい方を選択
- 同じ資源を共有するノードペアの x に対する比を追加することで  
その他の制約も考慮することが可能



Osaka University NTT

### シミュレーションモデル

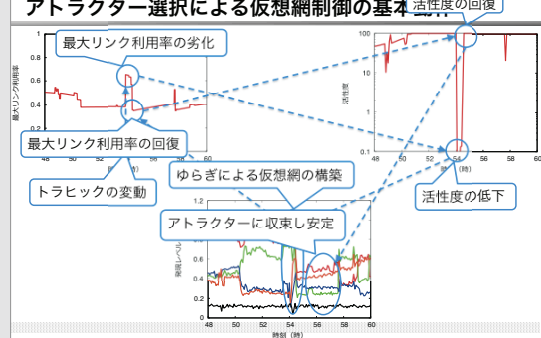
- 物理トポロジ
  - European Optical Network
- 環境変化
  - トラフィックデマンドの変動
    - 緩やかな周期変動
    - 急激で激しい変動
- 物理ネットワークの制約
  - トランスミッタ・レシーバ数: 8
- 比較対象
  - "Adaptation"
    - 5分ごとにリンク利用率を集計
    - 輻輳が生じると光パスを追加
    - トラフィックデマンドを用いて、光パスを追加するノードペアを決定
    - 推定により得られたトラフィックデマンド



Osaka University NTT

### アトラクター選択による仮想網制御の基本

活性度の回復



Osaka University NTT

### トラフィック変動に対する適応性

"Adaptation"は、急激なトラフィック変動後、その変動に適応するまで時間がかかる

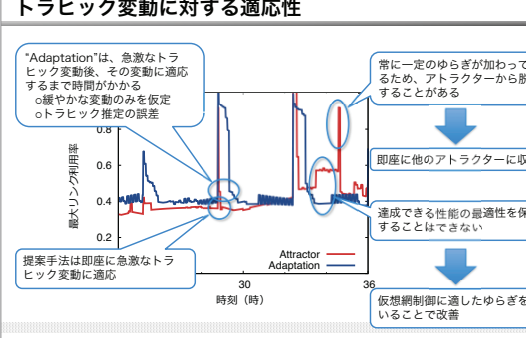
- 緩やかな変動のみを仮定
- トラフィック推定の誤差

常に一定のゆらぎが加わっているため、アトラクターから脱出することがある

→ 即座に他のアトラクターに収束

達成できる性能の最適性を保証することはできない

→ 仮想網制御に適したゆらぎを用いることで改善



Osaka University NTT

### まとめと今後の課題

- 環境変動に対する適応性
- 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
- アトラクター選択に基づく仮想網制御
  - 遺伝子・代謝ネットワークの環境変化に対する適応性に着想を得た仮想網制御手法
  - トラフィック変動に対して適応性を持つ
- 今後の課題
  - 仮想網制御に対して適切なゆらぎ量の決定
  - 適応性を表現する性能指標の考案
  - トラフィック変動以外の環境変化に対する適応性の評価

Osaka University NTT