

Osaka University

計算量を削減した自己組織型仮想網制御手法の評価

水元 宏治* 荒川 伸一* 小泉 佑揮* 島崎 大作** 宮村 崇**
 鎌村 星平** 塩本 公平** 平松 淳** 村田 正幸*

*大阪大学
 **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-over-WDM ネットワーク
 - WDM (波長分割多重) ネットワーク
 - 光バスを設定
 - 波長により構成される通信チャネル
 - 電気的な処理が不要
 - 光バス多重化により大容量トラフィックを収容
 - IP ネットワーク
 - 仮想網を構築
 - 複数の光バスにより構成される論理的なトポロジー
 - 論理トポロジーを用いて IP トラフィックを転送
- 仮想網制御
 - 通信需要に応じて適切な仮想網を構築
 - 管理ノードが制御情報を収集し光バスを制御

Osaka University

従来の仮想網制御のアプローチ

- 最適化問題を解く
 - 混合整数線形計画問題
 - 計算時間は、ノード数に対して指数的に増加
- ヒューリスティックな手法
 - MLDA[12]
 - 通信需要の大きいノード間から降順に光バスを設定
 - ネットワークの負荷を小さくする
 - I-MLTDA[11]
 - 通信需要とホップ数を考慮
 - 大きなトラフィックがたくさんルーターを経由するの避ける
 - ルーターの負荷を小さくする
 - 通信需要の長期的な観測が必要
 - 環境変化に対して適応するのに長時間必要
 - 通信需要を推定して仮想網を算出することも考えられる
 - 推定誤差により、性能は劣化

Osaka University

研究の目的とアプローチ

- 環境変化に対する適応性を備えた仮想網制御を実現したい
- アトラクター選択を用いた自己組織型仮想網制御手法を提案[9]
 - 未知の環境変化に対する生物の適応性を利用[9]
 - 計算機シミュレーションにより、50ノードにおける環境変化に対する適応性を確認
 - しかし、集中型制御のためノード数の増加に伴い仮想網算出の計算時間が増大
- 計算量を削減した分散型手法を提案[7]
 - 1000ノードにおいて計算時間は1秒以下
 - 集中手法は、約1000秒

Minimum Computation Time (sec) vs Number of Nodes

従来の集中型手法 (Centralized method) shows exponential growth in computation time as the number of nodes increases.

提案する分散型手法 (Proposed distributed method) shows significantly lower and more stable computation time, reaching approximately 1 second for 1000 nodes.

Osaka University

提案する計算量削減手法

- ネットワークを構成する n 個のノードのそれぞれを管理ノードとする
- アトラクター選択を用いて光バス集合を算出
 - 通信需要の変動に対する適応性を維持
- 各ノードが算出した光バス集合が重なり合って仮想網が構築される
- 自ノード起点の光バスの設定状態を制御
 - 各ノードが管理する光バス数は $n-1$
 - 従来の集中型手法は $n(n-1)$

Osaka University

仮想網の構築

- リンク利用率を用いて光バス集合を算出
 - 通信需要の取得を必要としない

Osaka University 7

各ノードにおける制御

- アトラクター選択を用いて光バス集合を算出
- アトラクター: 光バス集合の候補
- 光バスの状態のダイナミクス

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

$$\zeta(z) = \frac{1}{1 + \exp(-\mu z)}$$

- x_i : i 番目の光バスの状態
 - $0 \leq x_i < 0.5$: i 番目の光バスを削除
 - $0.5 \leq x_i \leq 1$: i 番目の光バスを設定
- α (活性度): 通信品質 (最大リンク利用率など)
 - 通信品質が良いと活性度は大きい
- アトラクターを持つ制御構造: アトラクターを埋め込む
- η (ゆらぎ): ノイズ

Osaka University 8

アトラクター選択の基本動作

光バスの状態変化式

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

ゆらぎとアトラクターを持つ制御構造により光バスの状態を活性度に応じて制御することで、通信需要の変動に対する適応性を実現

Osaka University 9

アトラクターと光バス集合の関係

光バスの状態変化式

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

- アトラクターと構築される光バス集合は、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
- 現在の環境に合ったアトラクターを動的に埋め込む

Osaka University 10

ヘブ則に基づくアトラクターの埋め込み

- 光バスの状態変化式

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha \cdot \left(\zeta \left(\sum_j W_{ij} x_j \right) - x_i \right) + \eta$$
 - アトラクターを持つ制御構造
 - ホップフィールドネットワークの状態変化を表すヘブ則と同じ式[10]
- ヘブ則
 - 時刻経過とともに、記憶されたいずれかの状態に収束
 - 記憶する状態数には上限がある
 - 制御変数の数の約15%
- 光バス集合 ($x_k = [x_1, \dots, x_i, \dots]$) がアトラクターとなるように W_{ij} を定義

$$W_{ij} = \sum_k w_{ij}(x_k) \quad w_{ij}(x) = \begin{cases} (2x_i - 1) \cdot (2x_j - 1) & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
 - 埋め込むアトラクター数の上限は、ノード数 n に対して $0.15 \times n$

[10] Y. Baran, "Orthogonal patterns in binary neural networks," tech. rep., NASA, Mar. 1988.

Osaka University 11

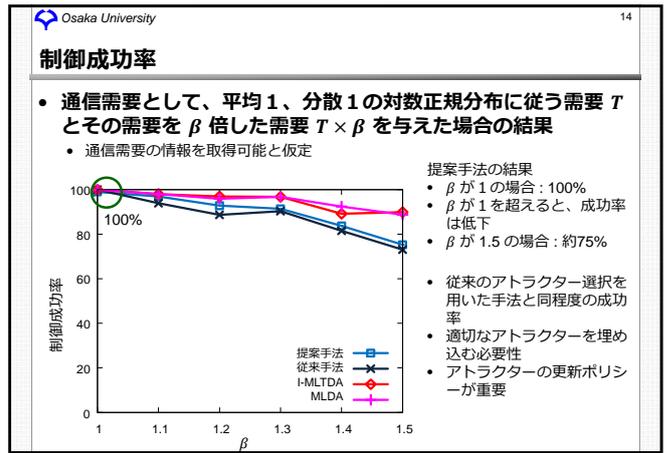
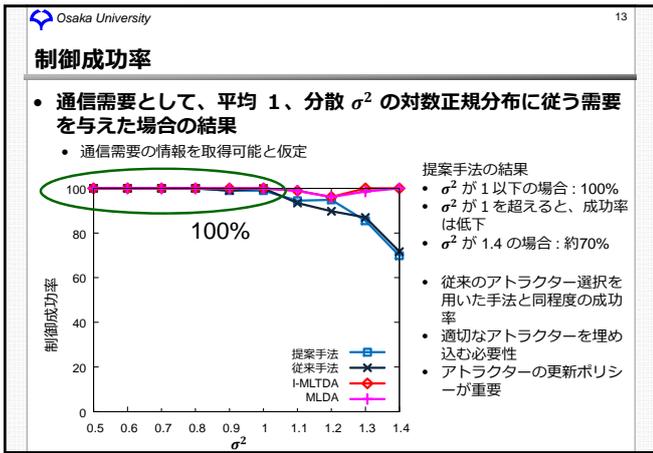
アトラクターの動的再構成

- アトラクターとする光バス集合の集合を動的に更新する
 - 埋め込むアトラクター数には上限がある
 - 現在の環境に適した光バス集合をアトラクターとして埋め込む
 - 通信品質が悪い状態から、良い状態になった
 - そのときの $x = [x_1, \dots, x_i, \dots]$ をアトラクターとして埋め込む
 - もっとも古いアトラクターを破棄する

Osaka University 12

シミュレーション条件

- 物理ネットワーク
 - 50ノード, 100リンク
- 物理ネットワークの制約
 - トランスミッター・レシーバー数: 16
- 通信需要
 - 時刻 0 においてさまざまな通信需要を与える
- アトラクター
 - 時刻 0 において 5 個のアトラクターを埋め込み動的に更新する
- 制御目標
 - 最大リンク利用率: 0.5 以下
- 評価指標
 - 制御成功率
 - 1000回の制御回数以下で制御目標を達成する割合



Osaka University 15

まとめと今後の課題

- 提案手法**
 - 分散制御により従来の集中型制御と比べて計算時間を削減
 - 各ノードでは、アトラクター選択を用いて光パス集合を算出
- 提案手法の性能評価**
 - 制御成功率を評価
 - 従来の集中型制御と比較して、計算時間を削減しつつ同程度の制御成功率を達成
 - 環境変化に対して従来手法と同程度の適応性を有する
 - ヒューリスティックな手法に比べて制御成功率が低い
 - 制御目標を達成するアトラクターを埋め込むことができていない
- 今後の課題**
 - 埋め込むアトラクターとアトラクターの動的再構成方法の検討
 - 1000ノード規模の物理トポロジーを対象として通信需要の変動に対する適応性を調査

Osaka University 16

仮想網制御への要求

- 情報ネットワークに対する社会的要求**
 - 多様化するサービスの QoS 保証、省工ネ
 - 管理のしやすさ、故障が起きても動き続ける
- 通信需要量増大および通信需要の多様化**
 - オーバーレイネットワーク (P2P)
 - 動画配信 (Youtube)

↓

環境の変化に対する適応性を備えた仮想網制御が重要

