

Osaka University

WDMネットワークにおける自己組織型仮想網制御の アトラクターの多様性の評価

大場 斗士彦 荒川 伸一 小泉 佑揮 村田 正幸
大阪大学 大学院情報科学研究科

2013/8/9

Osaka University

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
 - 波長で構成される通信チャンネル
 - ノード間で電気処理が不要
 - 光バスを多重化し通信回線を大容量化
- **仮想網制御**
 - 複数の光バスを用いて仮想網を構築
 - 仮想網上にIPトラフィックを収容
 - トラフィック需要の変化に応じて仮想網を再構築
 - 新たな通信サービスによりトラフィック需要が大きく変化してもIPトラフィックを収容可能

Osaka University

研究の背景

- **従来の仮想網制御手法：集中型の制御アプローチ**
 - 制御を行う管理ノードを設置
 - 管理ノードが対地間のトラフィック量を長期的に計測・収集
 - 収集した制御情報を使用し最適な仮想網を算出
- 欠点
 - トラフィック需要が急激に変化した場合、トラフィック需要の変化に追隨して仮想網を再構築することが困難
 - ネットワークの普及とともにネットワークの規模が拡大を続けているため制御情報量・計算時間が増大

↓

- **より少ない制御情報量で、より短い時間で、トラフィック変動に対して適応的に仮想網を再構築できる制御アプローチが重要**

Osaka University

アトラクター選択にもとづく自己組織型仮想網制御

- **アトラクター選択にもとづく仮想網制御 [5]**
 - アトラクター：仮想網の候補
 - 仮想網制御により光バスの設定状況を制御

光バスの状態変化式

$$\frac{dx}{dt} = \alpha \cdot f(x) + \eta$$

- $x = (x_1, \dots, x_n)$: 光バスの設定状況
- x_i : i 番目の光バスの状態
 - $x_i < 0.5$: i 番目の光バスを削除
 - $x_i \geq 0.5$: i 番目の光バスを設定
- α : 活性度 (最大リンク利用率などのIPネットワークの通信品質)
- $f(x)$: アトラクターを持つ制御構造
- η : ゆらぎ (ノイズ)

[5] Y. Koizumi, T. Miyamura, S. Arakawa, E. Oki, K. Shiomoto, and M. Murata, "Adaptive virtual network topology control based on attractor selection," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 28, pp. 1720-1731, June 2010.

Osaka University

アトラクター選択にもとづく仮想網制御の動作概要

光バスの状態変化式

$$\frac{dx}{dt} = \alpha \cdot f(x) + \eta$$

ゆらぎとアトラクターを持つ制御構造により光バスの設定状況を活性度に応じて制御
→ 従来の集中制御の方式と比較して、トラフィック変動に対する高い適応性を実現

Osaka University

アトラクターと仮想網候補の関係

- **アトラクターと仮想網候補は1対1に対応**
 - 光バスの設定状況のアトラクターへの引き込みの強さを決定
- **アトラクターとなる仮想網候補の決定手法が重要**
 - 制御時間の制約を考慮するとアトラクター数には制約がある
 - トラフィックの変動に対する適応性を向上するため、多様性を考慮した仮想網候補を構築することが重要

➡ **アトラクターの多様性を示す指標を導入することが必須**

✗ 形状が似た仮想網候補ばかりで多様性に乏しい

Osaka University 7

研究の目的とアプローチ

- アトラクター選択にもとづく自己組織型仮想網制御において、アトラクターの多様性を示す指標を導入すること

↓

- アトラクターとなる仮想網候補間のハミング距離を検討

仮想網候補間のハミング距離

$$d(\mathbf{x}^{(i)}, \mathbf{x}^{(j)}) = \sum_{k=1}^n |x_k^{(i)} - x_k^{(j)}|$$

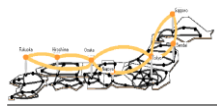
- $\mathbf{x}^{(i)} = (x_1^{(i)}, \dots, x_k^{(i)}, \dots, x_n^{(i)})$: 仮想網候補 i の光パスの設定状況
- ただし、光パス k が設定されているとき $x_k^{(i)} = 1$
光パス k が設定されていないとき $x_k^{(i)} = 0$

Osaka University 8

評価環境

- 評価環境

| | |
|---------|--------------------|
| 物理トポロジー | 50ノード (日本の地理情報を考慮) |
| ポート数 | ノードの次数 + 2 |
| 波長多重数 | 4 |



- 評価に用いるトラヒックパターン

グラビティモデルにもとづく基準となるトラヒックパターン


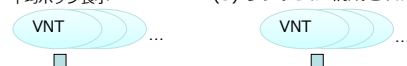

$$\Delta_{ij} = G \cdot P_i \cdot P_j$$

Δ_{ij} : トラヒックデマンドマトリクスの (i, j) 成分
 P_i, P_j : ノード i, j に対応する都道府県人口
 G : 定数 (I-MLTDAを適用して得た仮想網で最大リンク利用率が0.25程度になる値)

- 通信需要が増大した場合を想定した100パターン
 - 基準となるトラヒックパターンの各要素を1.0~2.0倍

Osaka University 9

仮想網候補の決定手順[8]

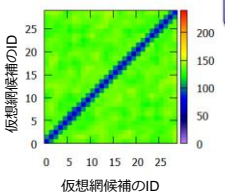
- I-MLTDA[12]により予備仮想網候補を100個算出

- 平均ホップ長が小さい順に選択
 平均ホップ長小 (3) ランダムに構成された仮想網候補を算出

- (2),(3)で得た仮想網候補を合わせて合計30個の仮想網候補を決定


[8] 大場斗士彦, 荒川伸一, 小泉佑輝, 村田正幸, "WDMネットワークにおける自己組織型仮想網制御のアトラクター決定手法の提案と評価," 電子情報通信学会フォトネットワーク研究会, Mar. 2013.
 [12] D. Banerjee and B. Mukherjee, "Wavelength-routed optical networks: Linear formulation, resource budgeting tradeoffs, and a reconfiguration study," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 8, pp. 598-607, 2000.

Osaka University 10

仮想網候補間のハミング距離の評価 - ランダムなし

- 平均ホップ長を考慮した仮想網候補を30個とした場合の仮想網候補間のハミング距離を評価

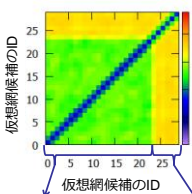


仮想網候補間のハミング距離が130~140程度

Osaka University 11

仮想網候補間のハミング距離の評価 - ランダムあり

- 平均ホップ長を考慮した仮想網候補を24個、ランダムに算出した仮想網候補を6個とした場合の仮想網候補間のハミング距離を評価



ランダムに算出した仮想網候補間・平均ホップ長を考慮した仮想網候補とランダムに算出した仮想網候補間のハミング距離が160~190程度

ランダムに算出した仮想網候補は解空間上で他の仮想網候補と離れた位置に広く分布

平均ホップ長を考慮した仮想網候補 ランダムに算出した仮想網候補

Osaka University 12

ハミング距離の有効性

- 既存研究[8]では、平均ホップ長を考慮した仮想網候補とランダムに算出した仮想網候補を合わせて仮想網候補を決定することで、仮想網制御性能が改善することを示した
 - ランダムに算出した仮想網候補を加えることで、トラヒック変動に対する適応性が向上
 - ランダムに算出した仮想網候補が、アトラクター選択により探索されるアトラクターに多様性をもたらす
- ランダムに算出した仮想網候補は他の仮想網候補間のハミング距離が大きい

↓

アトラクターの多様性を示す指標としてハミング距離が有効

[8] 大場斗士彦, 荒川伸一, 小泉佑輝, 村田正幸, "WDMネットワークにおける自己組織型仮想網制御のアトラクター決定手法の提案と評価," 電子情報通信学会フォトネットワーク研究会, Mar. 2013.

Osaka University 13

仮想網制御の振る舞いの評価

- 評価環境
 - 前述のものと同様の物理トポロジー・ポート数・波長多重数
 - 評価に用いるトラフィックパターン
 - 通信需要量が増大した場合を想定したもの
 - 基準となるトラフィックパターンの各要素を1.8~2.0倍
 - 初期アトラクター
 - 平均ホップ長を考慮した仮想網候補30個
- 制御目標
 - 最大リンク利用率を0.5以下とする（活性度を0.5以上とする）
 - 仮想網の再構築を最大400回行い、仮想網の再構築を10回行っても制御目標を達成した状態で安定していれば制御成功として制御を打ち切る

Osaka University 14

制御失敗時の仮想網制御の振る舞いの評価

- 仮想網制御に失敗した場合の、構築される仮想網とアトラクター間のハミング距離・探索範囲・活性度の推移を評価
 - 構築される仮想網はどのアトラクターともハミング距離が大きい
 - 探索範囲が広い
 - 活性度が小さい

活性度が小さくゆらぎの影響が大きくなるため解空間を広く探索する
→ 最終的に適したアトラクターを発見できず制御に失敗

Osaka University 15

制御成功時の仮想網制御の振る舞いの評価

- 仮想網制御に成功した場合の、構築される仮想網とアトラクター間のハミング距離・探索範囲・活性度の推移を評価
 - 適したアトラクターを発見・収束
 - 探索範囲が狭くなる
 - 活性度が大きい状態で安定する

適したアトラクターを発見すると活性度が大きくなる
→ 安定するとそのアトラクター付近にとどまる

Osaka University 16

まとめと今後の課題

- まとめ
 - アトラクター選択にもとづく仮想網制御において、アトラクターの多様性を示す指標を導入することが必須
 - 仮想網候補間のハミング距離を導入
 - アトラクターの多様性を示す指標としてハミング距離が有効
 - ハミング距離が大きいほど、仮想網候補が解空間上に広く分布し、アトラクターに多様性がもたらされる
- 今後の課題
 - ハミング距離が大きくなるように仮想網候補を決定し、仮想網制御の性能を評価
 - 個々のアトラクターがどのように作用して、仮想網制御の振る舞いに影響を与えているかを評価