

Osaka University

アトラクター選択にもとづく仮想網制御における 仮想網候補選定手法の提案と評価

大場 斗土彦 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

2014/9/5

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トラフィックを收容
 - 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トラフィックを收容可能

Osaka University

仮想網の制御アプローチ

- **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・より短い計算時間で、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仮想網制御手法 [6]

- **トラフィック変動に対する適応性を備えた仮想網制御手法**
 - アトラクター = 仮想網候補
 - 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

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

α : 活性度 (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)

- $x = (x_1, \dots, x_{n+2})$: 光バスの設定状況
 - x_i : i 番目の光バスの状態
 - $x_i \geq 0$: i 番目の光バスを設定
 - $x_i < 0$: i 番目の光バスを削除

解空間 (光バスの設定状況)

制御のために計測が必要な情報は IPネットワークの通信品質のみ

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

- **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**

光バスの状態変化式

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

α : 活性度
 $f(x)$: アトラクターを持つ制御構造
 η : ゆらぎ

アトラクターの発見

アトラクター (仮想網候補)

解空間 (光バスの設定状況)

アトラクターの探索

通信品質向上 (活性度増加)

通信品質低下 (活性度減少)

解空間 (光バスの設定状況)

● : 現在の光バスの設定状況
○ : アトラクター (仮想網候補)

Osaka University

研究の目的

- **アトラクターとして保持する仮想網候補を適切に選ぶことが重要**
 - アトラクター選択にもとづく仮想網制御では、仮想網は最終的にいずれかのアトラクターに収束
 - アトラクターとして保持する仮想網候補のいずれかが現在のトラフィックを收容可能であることが必要
 - 従来はランダムに光バスを設定して構築した仮想網候補を保持
 - 多様な仮想網候補が保持できるがアトラクターの探索に要する時間が不安定

↓

アトラクターとして保持する仮想網候補の選定手法を考案

- **アトラクターとして保持する仮想網候補の選定に関する要件**
 - 膨大な個数の仮想網候補から、多様なトラフィック変動に適応可能な一定数の仮想網候補を選定することが必要
 - 全仮想網候補数: 2^{n^2} 個 → 保持可能数: $0.1n^2$ 程度 [2] (n : ノード数)

[2] Y. Baram, "Orthogonal patterns in binary neural networks," NASA Technical Memorandum No. 100660, Mar. 1988.

Osaka University 7

研究のアプローチ

- 仮想網候補をその特性により分類し代表となる仮想網候補を選択
 - 似た特性を持つ仮想網候補を同一の仮想網候補群に分類
 - 異なる特性を持つ仮想網候補を保持し多様なトラフィック変動に対応
 - 特性を表す指標として Edge Betweenness Centrality を使用
 - ボトルネックとなる光バスを推定し、ボトルネックとなると予測される光バスが等しい仮想網候補を同一の仮想網候補群に分類

各仮想網候補群から代表となる仮想網候補を選択

似た特性を持つ仮想網候補を同一の仮想網候補群に分類

Osaka University 8

仮想網候補選定手法

- Step.1 選定対象となる仮想網候補の列挙
 - ヒューリスティックな手法で算出した仮想網の同型の仮想網候補を列挙
 - 仮想網候補数を 2^{n^2} 個 から $n!$ 個に削減
- Step.2 特性にもとづく仮想網候補の分類
 - ボトルネックとなると予測される (Edge Betweenness Centrality が最大となる) 光バスが等しい仮想網候補を同一の仮想網候補群に分類
 - 最大 n^2 個の仮想網候補群に分類
 - ボトルネックとなる光バスが次数が小さいノードを介して隣接している場合、似た特性を持つと見做して仮想網候補群を併合
 - 仮想網候補群の個数が $0.1n^2$ 個となるまで併合
- Step.3 各仮想網候補群の代表となる仮想網候補の選択・保持
 - ボトルネックとなる光バスの負荷が最も小さいと期待できる (Edge Betweenness Centrality の最大値が最小となる) 仮想網候補を選択

Osaka University 9

仮想網候補選定手法の大規模なネットワークへの適用

- 課題
 - 大規模なネットワークを対象とした場合膨大な計算時間が必要
 - $n!$ 個の仮想網候補の列挙に要する時間が爆発的に増加
 - 10ノード程度の小規模なネットワークでのみ適用可能
- 解決のためのアプローチ
 - 縮約したネットワークのトポロジーに対して仮想網候補選定手法を適用

縮約後のトポロジー

物理ネットワーク

クラスター間リンク

クラスター

クラスター内リンク

Osaka University 10

トポロジーの縮約を用いた仮想網候補選定手法

- Step.1 トポロジーのクラスター分割
 - トポロジーを c 個以下のクラスターに分割
 - クラスター内頂点数が c 個より多い場合は再帰的にクラスター分割
- Step.2 最下位層クラスター内のトポロジー生成
 - 最下位層のクラスター内はスター型を重量 or フルメッシュ型のトポロジーを生成
- Step.3 上位層のトポロジー生成
 - 前述の仮想網候補選定手法を用いてトポロジーを生成
- Step.4 クラスター間光バスの設定
 - クラスター間の光バスの端点とクラスター内ノードのマッピング
 - 次数が低いノード同士を接続

第0層

第1層 (最下位層)

Osaka University 11

選定した仮想網候補の性能評価

- 評価内容
 - 選定した仮想網候補がどの程度トラフィックを収容できるかを評価
 - 評価指標：最大リンク利用率
- 評価環境
 - 物理ネットワーク

ノード数	ポート数
5	3
25	10
100	32
 - トラフィック
 - 平均1.5偏差0.5の対数正規分布に従う乱数1000パターン
 - 比較手法
 - 光バスをランダムに設定して仮想網候補を構築
 - 提案手法により選定した仮想網候補と同数の仮想網候補を算出

仮想網候補選定手法を適用

トポロジーの縮約を用いた仮想網候補選定手法を適用

Osaka University 12

仮想網候補の選定 (5ノード)

- 仮想網候補選定手法を適用
 - Step.1 選定対象となる仮想網候補の列挙
 - I-MLTDA[10]を使用して仮想網を算出
 - 算出した仮想網の同型の仮想網候補 ($5! = 120$ 個) を列挙
 - Step.2 特性にもとづく仮想網候補の分類
 - 仮想網候補群をその個数が3 ($\approx 0.1 \times 5^2$) 個になるまで併合
 - Step.3 各仮想網候補群の代表となる仮想網候補の選択・保持
 - 計3個の仮想網候補を選定

[10] 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.

