

Osaka University

進化適応性を備えた WDM ネットワーク設備増強手法の提案と評価

井上 昂輝 荒川 伸一 村田 正幸
大阪大学 大学院情報科学研究科

2014/ 6/ 27

Osaka University

IP over WDM ネットワーク

- WDM (波長分割多重) ネットワーク**
 - 光信号レベルの交換
 - OXC (光スイッチ) を経由した光バスを提供
- IP ネットワーク**
 - 複数の光バスが仮想網を構成
 - 仮想網を用いて通信需要を収容
 - 仮想網制御
 - 通信需要に応じて仮想網を再構築

Osaka University

WDM ネットワークの設備増強

- 通信需要の増大に備えて設備増強が必要**
 - 従来手法は、予測通信需要に特化した仮想網と物理設備を設計
- インターネットをとりまく環境が変動**
 - 新たなサービスの登場による通信需要変動および増大
 - 将来の通信需要を正確に予測することは困難

通信需要変動に短期間しか対応できず、短周期の設備増強が必要

Osaka University

研究目的

様々な通信需要変動に適應可能な
WDM ネットワーク構築の指針を得る

↓

- ネットワーク設備としてポート数を増強する手法を提案**
 - ポート数を増強することで設定可能な光バス数が増加

Osaka University

[2] K. Kaneko, "Evolution of robustness and plasticity under environmental fluctuation: Formulation in terms of phenotypic variances," *Journal of Statistical Physics*, vol.148, no.4, pp.687-705, Sept. 2012.

アプローチ

- 環境変動に対する高い適應性を示す生物の進化に着目**
 - 頑強性: 環境変動の影響で変化した状態を元に戻すことで機能を維持する性質
 - 可塑性: 環境変動に応じて自身の状態を変化させることで新たな環境に適應する性質
- 生物の進化モデル [2]**
 - 頑強性と可塑性を両立する生物の進化を定式化
 - 遺伝子制御ネットワークの変異+選択淘汰により環境に適應

Osaka University

数理モデル

- 遺伝子発現量のダイナミクス**

$$\frac{dx_i}{dt} = \gamma \left\{ f \left(\sum_j J_{ij} x_j \right) - x_i \right\} + \sigma \eta_i$$
 - $x = (x_1, x_2, \dots, x_M)$: 遺伝子発現量
 - $x_i > \theta_i$: 遺伝子*i*が発現 (θ_i は閾値)
 - J_{ij} : 遺伝子制御ネットワーク
 - 遺伝子間の活性抑制関係を表すマトリクス
 - η_i : ゆらぎ (環境からのノイズ)
 - γ, σ : 定数
 - $f(z) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(z - \theta)}} + \delta$ (シグモイド関数, δ は定数)
- 環境適應度: 遺伝子発現パターンにより算出**
 - 環境適應度の低い遺伝子制御ネットワークを淘汰
 - 環境適應度の高い遺伝子制御ネットワークを選択→変異 (複製)

Osaka University 7

進化モデルの設備増強手法への応用

• モデル要素の対応関係

生物の進化	表現型	遺伝子発現ダイナミクス	システムコンディション	環境からの外力	環境変動
進化モデル	遺伝子発現状態	遺伝子制御ネットワーク	環境適応度	入力遺伝子	入力遺伝子変更
ポート数増強手法	光バス設定状況	制御行列	最大ルータ利用率	ポート追加状況	通信需要変動

• 動作

- 遺伝子 i を光バス候補 i_i に対応させ仮想網を構築 ($i = 1, 2, \dots, n^2; n$ はノード数)
 - $x_i > \theta_i$: 光バス i_i を設定
 - $x_i \leq \theta_i$: 光バス i_i を削除
- 仮想網上に想定トラヒック需要を収容
- ネットワーク負荷にもとづき環境適応度を算出
 - 環境適応度 = $-1 \times$ (最大ルータ利用率)
- 制御行列 J_{ij} の変異 + 選択淘汰

Osaka University 8

提案手法

- ポート追加の対象となる各ノードに対して以下を実行
 - そのノードにポートを暫定的に追加
 - 複数の想定トラヒック変動に対して環境適応度の推移を試算
 - 「光バス設定→最大ルータ利用率算出→ J_{ij} 変異+選択淘汰」を繰り返し
 - 想定的にトラヒックを変動 (複数の変動パターン)
 - 「光バス設定→最大ルータ利用率算出→ J_{ij} 変異+選択淘汰」を繰り返し
- 最も高い可塑性が観測されたノードにポートを追加
 - 可塑性の評価:
 - 多様なトラヒック変動に対する適応度
 - 想定トラヒック変動ごとに最大ルータ利用率を算出
 - 中央値を評価値として使用

Osaka University 9

評価環境

[1] Y. Kozumi, T. Miyamura, S. Arakawa, E. Oki, K. Shiomoto, and M. Murata, "Adaptive virtual network topology control based on attractor selection," IEEE Journal of Lightwave Technology, vol.28, no.11, pp.1720-1731, June 2010.

• 通信需要

- Δ_t^{ij} : ノード $i \rightarrow j$ の時刻 t における通信需要
- 初期値: 重力モデル

$$\Delta_0^{ij} = G \cdot P_i \cdot P_j$$
 - G : 定数
 - P_i : ノード i に対する都市人口
- 変動: 幾何ブラウン運動モデル

$$\Delta_t = \Delta_0 \cdot \exp\left\{\left(g - \frac{v^2}{2}\right)t + v \cdot W_t\right\}$$
 - g : 平均的な増加度合い
 - v : ランダム変動の大きさ
 - W_t : ホワイトガウスノイズ

• 仮想網制御手法

- アトラクター選択にもとづく仮想網制御手法 [1]
 - 高い適応性を有する仮想網制御手法
 - 通信品質として最大ルータ利用率を使用

Osaka University 10

比較手法

[6] 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, no.5, pp.598-607, Oct. 2000.

- ポート追加の対象となる各ノードに対して以下を実行
 - そのノードにポートを暫定的に追加
 - 現在のトラヒック需要に対して I-MLTDA [6] による仮想網を設定し最大ルータ利用率を試算
 - I-MLTDA (Increasing Multi-hop Logical Topology Design Algorithm): ヒューリスティックな仮想網設定手法
 - トラヒック需要とホップ数の情報を用いて最適な仮想網を構築
- 試算した最大ルータ利用率が最小のノードにポートを追加

現在のトラヒック需要に適した仮想網を構築できるようにポート数を増強

Osaka University 11

評価結果

• 12 ノード中 3 ノードのポート数を増強

- 選択された各ノードのポート数を +4

Osaka University 12

最大ルータ利用率の推移

• 仮想網制御による最大ルータ利用率の推移を観測

g	v
0.005	0.01
0.005	0.02
0.005	0.03
0.005	0.04
0.005	0.05
0.005	0.06

ランダム変動の大きさを表すパラメーター

それぞれ 1000 パターン生成

$v = 0.06$ で生成される通信需要 1000 パターンのうちある 1 パターンに対する観測結果

提案手法によるポート追加により制御有効期間が増加

