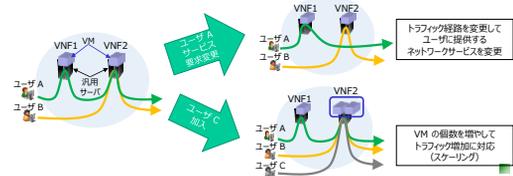


# 生物のモジュール構造に基づく 進化適応能力の サービスチェイニング制御への応用

大阪大学 大学院情報科学研究科  
情報ネットワーク専攻 村田研究室 乙倉麻里

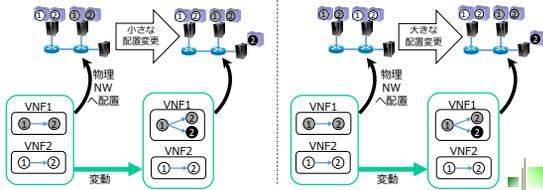
## サービスチェイニング (SC)

- ユーザごとにカスタマイズされたネットワークサービスを提供する技術
  - ネットワークサービス：VNF (Virtualized Network Function) を鎖状に繋いだもの
    - VNF は物理サーバ上の仮想マシン (VM) で実行される
  - ユーザのサービス要求の変更・トラフィック変動に動的に対応可能
    - サービス継続性を保証するために、変更迅速に対応する必要がある



## 動的スケールアップ

- トラフィック変動に応じた、VNF の規模の動的な変更
  - 目的：トラフィック量減少時の、過剰な物理ネットワーク資源 (サーバ・リンク) の割り当てを防ぐ
    - 従来は最大トラフィック量に合わせて資源を割り当てていた
  - 方法：VNF を構成する VM の、物理ネットワーク上での個数増減と配置変更
    - 資源増減に応じて大きな配置変更が起きる可能性がある



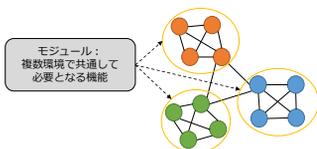
## 研究目的

- SC 制御の要件：サービス構成変更 (VM 配置変更等) に必要な時間が小さいこと
- 動的スケールアップの目的：物理ネットワーク資源利用の削減
- SC 制御の要件と動的スケールアップの目的はトレードオフの関係にある
  - 資源を冗長に利用すれば SC 制御の要件を満たせるが、動的スケールアップの目的を満たせない
  - 資源利用を最小化する配置を動的に計算すれば動的スケールアップの目的を満たせるが、SC 制御の要件を満たせない

生物の環境変動に対する高い適応能力の源泉である生物の進化適応能力の知見を利用した SC 制御の要件・動的スケールアップの目的を共に満たす VM 配置手法を提案

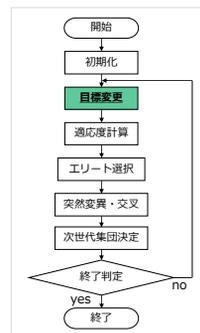
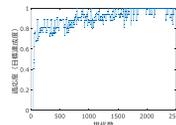
## 生物の進化適応能力

- 生物の環境変動に対する高い適応能力の源泉
- 生物は、環境変動の中で進化すると、その環境変動に迅速に適応できるような構造へと変化していく
  - 複数環境で共通して必要な機能に対応する部分を再利用するような構造となっていく
  - ネットワークとして表すと、高いモジュール性が見られるようになる



## MVG (Modularly Varying Goals) - GA [1]

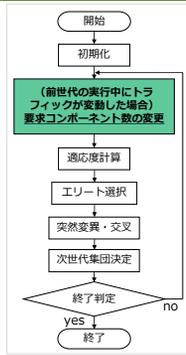
- 環境変動の中での生物進化のモデル化
  - 目標を変動させながら遺伝的アルゴリズムを実行
    - 変動させる目標群内には共通部分が存在
  - 実行結果として、目標変動に迅速に適応可能なゲノムが得られる
    - 数世代で新しい目標に対する適応度が 1 となる



[1] N. Kashan and U. Alon, "Spontaneous evolution of modularity and network motifs," PNAS, vol. 102, no. 39, pp. 13773-13778, 2005.

### 提案手法の概要

- MVG-GA の動的 VM 配置問題への応用
- トラフィック変動に応じて MVG-GA の目標変更 (要求コンポーネント数変更) を行う
  - 「目標変動に迅速に適応可能」、すなわち、変動に応じて必要となる物理ネットワーク上での VM 移動数が少なくなる VM 配置を求められることができる
  - 適応度関数に資源利用率に関する項を含む (後述) ため、資源利用率も低くなる

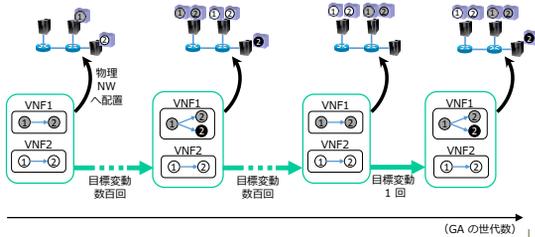


### 提案手法における適応度関数

- 適応度関数:  $F = \kappa - \frac{P_U + P_C}{\kappa}$ 
  - $\kappa$ : 要求コンポーネント数と、現在配置コンポーネント数との一致度
  - $P_U$ : 物理ネットワーク資源利用率 (サーバ、ルータ間リンクの利用率) が閾値を超えていた場合に課せられるペナルティ
    - 資源利用率:  $(\frac{\text{利用中サーバ数} + \text{利用中ルータ間リンク数}}{\text{全サーバ数} + \text{全ルータ間リンク数}}) \times \frac{1}{2}$
  - $P_C$ : サーバに配置可能な数以上のコンポーネントを配置した場合に課せられるペナルティ
- 以下 3 点を満たすコンポーネント配置の適応度が 1 となる
  - コンポーネント要求数を過不足なく満たす
  - 資源利用率が閾値以下となる
  - 各サーバで使用可能なコア数を超過しない
- この適応度関数中では配置変更を考慮していない

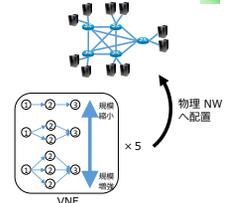
### 提案手法の実行の流れ

- 最初はランダムな配置が生成される
- 次第に「目標変動に迅速に適応可能」な配置が現れてくる



### シミュレーション評価

- 5 ルータからなるフルメッシュネットワーク (各ルータには 2 サーバが接続) に、5 つの VNF を配置
  - 各 VNF は 3 コンポーネントからなり、右図の 3 状態のうち 1 つをとる
  - 目標変動は VNF 状態の変動により表される



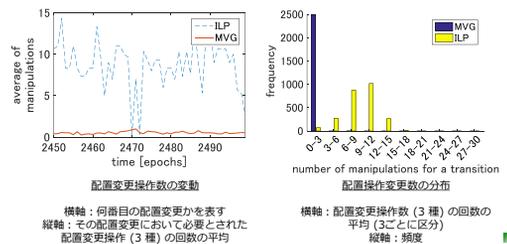
- 2500個の目標からなる目標列を用意
- この目標列に対し、以下の 2 つの方法で求められる配置列を評価
  - 提案手法 (MVG-GA) により求めた配置列
    - 目標変動の間隔は20世代
  - 各目標に対して資源利用率が最小となる配置からなる配置列

### 評価指標

- 配置列を以下 2 点の指標で評価
  - 配置変更操作数
    - 配置列中で隣り合う 2 つの配置間の配置変更を行うために必要な VM 操作の数
      - VM 操作: VM のルータ間リンクを経由した migration, replication, merge
        - migration: VM の移動
        - replication: VM の複製
        - merge: VM の併合 (replication を行った VM を元に戻す操作)
  - 資源利用率
    - 配置列中の各配置における、物理ネットワーク資源の利用率 (サーバ、ルータ間リンクの利用率)

### 評価結果 (配置変更操作数)

- 提案手法の方が比較手法に比べ、必要な配置変更操作数が少ない
  - MVG-GA により、変動中に存在する共通部分がモジュール構造として配置中に現れるようになったため



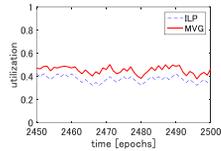
横軸: 何番目の配置変更かを表す  
縦軸: その配置変更において必要とされた配置変更操作 (3 種) の回数の平均

横軸: 配置変更操作数 (3 種) の回数の平均 (3 ごとに区分)  
縦軸: 頻度

## 評価結果（資源利用率）

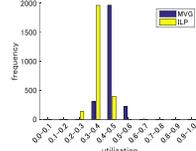
13

- 提案手法は比較手法より資源利用率が高いものの、わずかな差にとどまっている
  - ILP は資源利用率最小の配置を計算する
  - MVG-GA によって生成された変動に強い配置は、最適配置と比べて冗長性を必要とする



資源利用率の変動

横軸：配置列中の何番目の配置かを表す  
縦軸：その配置の資源利用率



資源利用率の分布

横軸：資源利用率（0.1ごとに区分）  
縦軸：頻度

## まとめと今後の課題

14

- まとめ
  - MVG-GA を利用した、トラフィック変動下での動的スケール制御手法（VM 配置計算手法）の提案
    - ある要求コンポーネント数に対する VM 配置から次の要求コンポーネント数に対する VM 配置への変更が、少ない操作数で可能
- 今後の課題
  - より大規模で複雑なネットワークを想定した評価
  - コンポーネントの配置だけでなく、VNF 複数で構成されるサービスチェーンの配置も行えるように手法を拡張