

## Service Function Placement Method based on Degeneracy in Edge Computing Environment

大阪大学 大学院情報科学研究科  
村田研究室 齋藤 卓哉

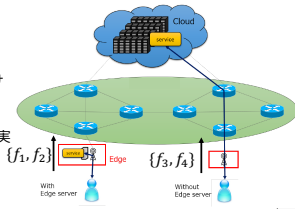
### 研究の背景

- **クラウドサービスの普及**
  - データセンター上でユーザーに提供するサービスや計算資源を稼働
  - オンプレミス型と比較して、サービス利用における通信遅延や使用帯域が増大
- **クラウドサービスの遅延**
  - 負荷の集中による処理遅延
    - 多数のエンド端末から DC へ負荷が集中
  - 遅延の顕著化
    - リアルタイム性の高いサービスの増加
- **エッジコンピューティング (EC) への期待**
  - サービス機能の一部を、データセンターからエンド端末に近い多数のエッジサーバー (ES) に再配置
  - よりユーザーに近い位置にエッジサーバーを設置してサービスを稼働
    - クラウド型サービスよりも通信遅延や使用帯域が減少

### EC環境におけるサービス機能配置

#### サービスモデル

- ユーザーはサービス要求を送出
  - 機能集合  $f = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$  から利用したいサービス機能を抜粋し、チェーンを作成してネットワーク (Edge) に送付
- エッジサーバー群が要求で指定されるサービスを実行
  - 実行結果をユーザーに回答
  - 残サービス要求がある場合、隣接するエッジサーバーに処理を依頼



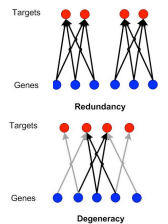
#### サービス機能配置問題

- 各サーバーに配置するサービス機能を決定する問題
  - EC環境の資源制約：コンピューティング資源がクラウドより非常に乏しく過負荷状態になりやすい
  - EC環境の低頑強性：サーバーの故障やサービス要求の変化で性能が著しく低下

### 研究内容と研究のアプローチ

#### 研究内容

- 生物システムに見られる縮退特性 (Degeneracy) にもとづくサービス機能配置手法の考案と有効性評価
- 縮退特性<sup>[1]</sup>：
  - システムを構成する要素の集団が、その機能に関して可塑性と冗長性を兼ね備えていることを表す性質
    - 可塑性：環境変化によって要素が異なる機能を発現
    - 冗長性：同一環境のもとで異なる要素が同じ機能を発現
  - 要素同士が所持する機能を部分的に重複させることで向上



- 縮退特性を向上するサービス機能配置
- 縮退特性によりサーバ故障等に対する頑強性を向上

#### 研究のアプローチ

- 相互情報量指標にもとづいたサービス機能配置の縮退特性の定量化
- サービス機能欠損時の要求処理能力を評価

[1] Networked buffering: a basic mechanism for distributed robustness in complex adaptive systems, James M Whitacre, 2010

### 相互情報量にもとづく縮退特性指標 $D_Z$

[2] Macia, J., & Solé, R. (2009). Distributed robustness in cellular networks: insights from synthetic evolved circuits. *Journal of The Royal Society*

#### NANDゲートを用いた電子回路システムの縮退特性[2]

サブ回路  $X_i^k$  と出力  $O$  の相互情報量に基づき、

**Redundancy**

$$R_Z(X) = \sum_{i=1}^Z I(X_i, O) - I(X, O)$$

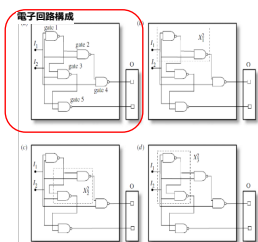
**Degeneracy**

$$D_Z(X) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^Z (D_Z(X_i^k))$$

$$D_Z(X_i^k) = I(X_i^k, O) + I(\bar{X}_i^k, O) - I(X, O)$$

サブ回路の出力と全体出力の相互情報量  $\leftrightarrow$  情報伝達量  
補回路の情報伝達量  
システム全体の情報伝達量

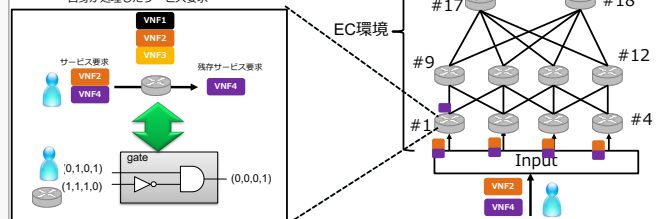
- サブ回路の出力への貢献能力 (=機能) が、システム内に重複して現れる量を算出



### サービス機能配置の縮退特性

- 縮退特性を、 $D_Z(X) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^Z (D_Z(X_i^k))$ ,  $D_Z(X_i^k) = I(X_i^k, O) + I(\bar{X}_i^k, O) - I(X, O)$  により定義

- エッジサーバー：電子回路におけるゲート
  - ゲートでの処理はNANDではなく、ゲート入力信号 = サービス要求、ゲート出力信号 = 残存サービス要求とする
- ユーザーのサービス要求 ( $X$ ) :  $k$ [bit]のシステム入力信号
- 残存サービス要求 ( $O$ ) :  $k$ [bit]のシステムの出力信号
- ESの出力 ( $X_i^k$ ) : ユーザーの各サービス要求に対して自身が処理したサービス要求



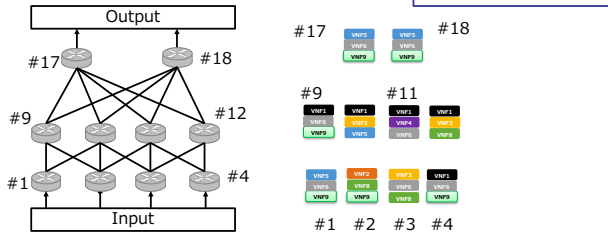
### サービス機能配置の縮退特性の分析

#### 縮退特性の分析

- VNF配置をランダムに生成
- 800パターン of 配置に対して  $D_z$  を算出
- $D_z$  が最小となる配置 ( $D_z=0.490$ )

#### サービス機能配置の特徴

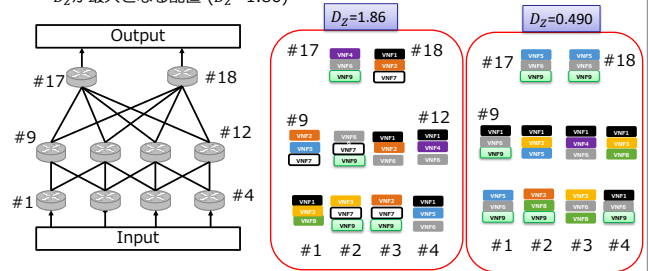
- VNF7が配置されていない
- VNF2, VNF4は#2, #11にのみ配置され、代替が効かない
- $\rightarrow$ 縮退特性が低下



### サービス機能配置の縮退特性の分析

#### 縮退特性の分析

- VNF配置をランダムに生成
- 800パターン of 配置に対して  $D_z$  を算出
- $D_z$  が最小となる配置 ( $D_z=0.490$ )
- $D_z$  が最大となる配置 ( $D_z=1.86$ )



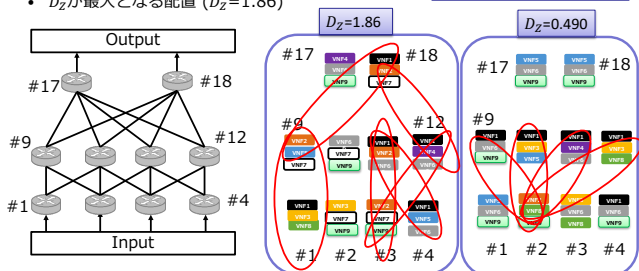
### サービス機能配置の縮退特性の分析

#### 縮退特性の分析

- VNF配置をランダムに生成
- 800パターン of 配置に対して  $D_z$  を算出
- $D_z$  が最小となる配置 ( $D_z=0.490$ )
- $D_z$  が最大となる配置 ( $D_z=1.86$ )

#### サービス機能配置の特徴

- {VNF1, VNF2}を処理するサブ集合 (サイズ2)を赤円で表示
- $D_z=1.86$ の場合、サブ集合の個数が増大



### 縮退特性にもとづくサービス機能配置の性能評価

#### 縮退特性を有するサービス機能配置の頑強性を評価

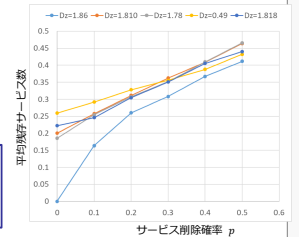
- サービス配置  $q$  を与え、障害発生時の平均残存サービス数を評価
- 障害：各ESに配置されたサービス機能のうち、サービス削除確率  $p$  で無作為に選んだサービス機能を削除

#### 平均残存サービス数

- 各経路 (20パス) 上で処理可能なサービス集合を求める
  - 劣性のサービス集合は削除
  - {[1101][1001]}に対して [1101]を残す
- 処理可能なサービス集合から、0が出現する平均数を求める

例

- [110011101]=(3/9)
- [000011111]=(4/9)
- [110110111]=(2/9)
- [100111110]=(3/9)



縮退特性が高いサービス機能配置 ( $D_z=1.86$ ) は、平均残存サービス数が小さく、サービス削除に対する頑強性も高い

### まとめと今後の課題

#### まとめ

- EC環境におけるサービス機能配置手法の考案
  - 生物システムに見られる縮退特性 (Degeneracy)に着眼
  - 相互情報量の尺度にもとづきサービス処理に関わる機能的重複の度合いを指標化
- 縮退特性を高めたサービス機能配置の特性に関する定性的分析と性能評価

#### 今後の課題

- 冗長性指標  $R_z(X)$ の分析
- 縮退特性指標の再考
  - $D_z(X)$ は平均により算出
  - 各サービスの配置量は必ずしも反映されない
  - $\rightarrow$ 縮退特性指標は最大ではなくとも、サービスの分散配置を考慮する必要
- 計算量の削減
  - $D_z(X)$ 算出時にサブユニットを全列挙するため大規模システムの特性評価が不可
  - サブユニットのサイズを限定した場合に得られる性能評価

$$D_z(X) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^Z (D_z(X_i^k))$$

$$D_z(X_i^k) = I(X_i^k, 0) + I(\bar{X}_i^k, 0) - I(X, 0)$$