

Osaka University

コアペリフェリ構造の導入による 仮想化ネットワーク機能の 効率性および安定性の向上に関する研究

大阪大学 基礎工学部 情報科学科
村田研究室 津久井佑樹

平成 29 年度 特別研究報告発表会 2018 / 2 / 21

Osaka University

NFV (Network Function Virtualization)

- ネットワーク機能の仮想化**
 - 柔軟かつ効率的なサービス提供・設備投資や運用コスト軽減への期待
 - ネットワーク機能を分割・仮想化し VNF (Virtual Network Function) として実現
 - 例) ファイアウォール、アンチウイルス
 - 一つの汎用サーバ上で複数のインスタンスを動作させることが可能
 - サービスチェーンを用いた機能提供
- VNF の配置問題**
 - 適切な VNF 配置を求める問題

Osaka University

VNF 配置問題へのアプローチ

[8] P. Csarmely, A. Lendon, L.-Y. Wu, and B. Uzsi, "Structure and dynamics of core/periphery networks," *Journal of Complex Networks*, vol. 1, pp. 99-125, Oct 2013.

- VNF の配置問題解決のための要件**
 - サービスチェーン要求の変化にあわせ適切に配置を変更
 - 過剰な変更を回避
- コアペリフェリモデル [6] に着目**
 - 環境変化に対するシステムの安定性と適応性を同時に維持できることを説明するモデルの一つ
 - システム要素をコアとペリフェリに分類
- NFV ヘコアペリフェリモデルを適用**
 - コアとして配置した VNF によりサービス提供を安定化
 - ペリフェリである VNF の配置を変化させることでサービスチェーン要求の変化に柔軟に適應

NFV	コアペリフェリモデル
頻繁に実行される VNF	安定的なコア
それ以外の VNF	環境に応じて変化するペリフェリ

Osaka University

研究の目的

- VNF 配置にコアペリフェリモデルを適用するにあたって考慮すべき点**
 - コアサイズに対する効率性
 - コアサイズ: コアを構成する VNF 数
 - コアサイズを定めたときコアだけでサービスチェーン要求の何割を処理可能になるか
 - コアの処理能力の時間的な安定性
 - サービスチェーン要求が変化した場合にコアの処理能力が安定しているか

- VNF コアの抽出法の考案
- VNF コアの効率性と安定性を定量的に評価

VNF コア: NFV におけるコア

- サービスチェーン要求を有向グラフ化しサブグラフへ分解
- AS (Autonomous System) を用いた実測データによる評価
- サービスチェーン要求の生成モデルを用いた評価

アプローチ ↑

Osaka University

VNF コアの抽出

[9] C. Giannidis, D. M. Thilikos, and M. Vazirgiannis, "Cores: measuring Collaboration of directed graphs based on degeneracy," *Knowledge and Information Systems*, vol. 35, pp. 311-343, May 2013.

- サービスチェーン要求を有向グラフ化
- 次数の高い集合を有向グラフにおけるコアと認識
 - 実行頻度の高さが次数に反映されるため
- サブグラフ分解メトリクス [8]
 - ノードの最低出次数と最低入次数をもとに分解
- 配置上限を満たしタブル被覆率が最も高いサブグラフを VNF コアとみなす

Osaka University

VNF コアの評価指標

- タブル被覆率**
 - タブル: サービスチェーン要求内の隣接 VNF
 - 被覆率: 全てのサービスチェーン要求に出現するタブルのうち、コアを構成する VNF で被覆する割合
 - コアで処理可能なサービスチェーン要求の割合を反映
- タブル被覆率が大きいほど高い効率性
- サービスチェーン要求の変化に対してタブル被覆率の減少が小さいほど高い安定性

タブル被覆率 A

$$A(k, l, t_1, t_2) = \frac{|E(k, l, t_1, t_2)|}{|E(t_1)|}$$

$$|E(k, l, t_1, t_2)| = |\{x \in E(t_1) : x \in E(DC_{k,l}^t)\}|$$

$A(k, l, t_1, t_2)$: タブル被覆率
 DC : サブグラフ
 E : サブグラフを構成する有向辺の集合
 k, l : 全サービスチェーン要求に含まれるタブルの集合
 t_1 : 最低出次数
 t_2 : 最低入次数
 t_1, t_2 : サブグラフを得た時刻
 t_1, t_2 : サービスチェーン要求の時刻

タブル被覆率: 33.3%

コアを構成する VNF (赤) それ以外の VNF (青)
 コアと被覆するタブル (赤) それ以外のタブル (青)

Osaka University 7

[[11] Y. Nam, S. Song, and J.-M. Chung, "Clustered NFV service chaining optimization in mobile edge clouds," IEEE Communications Letters, vol. 21, pp. 350-353, Oct. 2017.

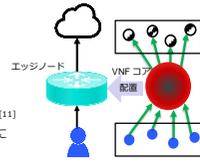
評価環境

ネットワーク構成

- ネットワーククラウドに接続された 1 台のエッジノード
 - エッジノードに配置可能な VNF 数には上限を設定
 - エッジノードに抽出した VNF コアとして配置

サービスチェーン要求

- 生成手順
 - リクエストされる VNF 数を 10~20 の範囲で一様な確率で決定
 - リクエストされる各 VNF をジップの法則にしたがって決定
 - VNF が要求される確率はジップの法則に従う^[11]
 - パラメータ α が高いとサービスチェーン要求に含まれる VNF の偏在性が増加



ジップの法則

$$p_j = \Omega / j^\alpha$$

p_j : j 番目の VNF が要求される確率 $\Omega = 1 / \sum_{i=1}^N \frac{1}{j^\alpha}$ N : VNFの総種類数 α : パラメータ

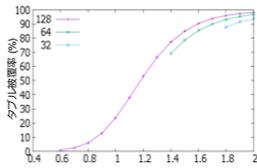
Osaka University 8

効率性の評価

評価手順

- エッジノードに配置可能な VNF 数の上限は 128, 64, 32
- α が異なるサービスチェーン要求を生成
- 各サービスチェーン要求から VNF コアを抽出しタプル被覆率を算出

パラメータ	値
サービスチェーン要求の本数	30000
VNFの総種類数	30000
α	[0.1, 2.0]



サービスチェーン要求の変化で効率性が変化

- α が高いと効率性も増加
 - 少ない VNF で高いタプル被覆率
- α が低いと効率性も減少
 - タプル被覆率を上げるには配置可能な VNF 数を増やすなどの設備投資が必要

注. 配置上限を満たすサブグラフが得られなかった場合はプロットされないサービスチェーン要求を 10 回生成した平均

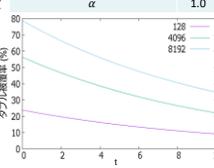
Osaka University 9

安定性の評価

評価手順

- エッジノードに配置可能な VNF 数の上限を 128, 4096, 8192 に設定
- 時刻 $t = 0$ にてサービスチェーン要求を生成し VNF コアを抽出
- 1 単位時間ごとにサービスチェーン要求を追加生成
 - 含まれるタプルが 1.1 倍になるように追加
 - 追加時、要求される VNF は一様な確率で決定
- VNF コアのタプル被覆率の変化を算出

パラメータ	値
サービスチェーン要求の本数	30000
VNFの総種類数	30000
α	1.0



全体的に VNF コアの安定性が低く再配置が必要

- 要求される VNF が分散するため
- VNF が少ないほど比較的安定
 - 配置リソースを増やしても安定してサービスチェーン要求を処理できない

注. サービスチェーン要求を 10 回生成した平均

Osaka University 10

まとめと今後の課題

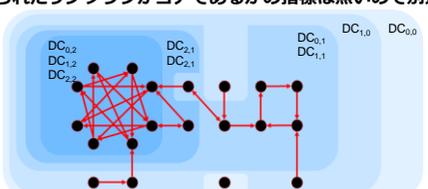
- 安定的かつ適応的な VNF 配置方法を得るために、NFV にコアペリフェリモデルを適用
- サブグラフ分解を用いたコア抽出法を考案
- 考案したコア抽出法を用いて実測データである AS から効率性と安定性を得られることを確認
- VNF コアの効率性と安定性を評価
 - 要求される VNF の偏在性が増加するほど効率性も増加
 - より少ない VNF で多くのサービスチェーン要求を処理可能
 - 要求される VNF が分散すると安定性が低下
 - 再配置が必要
 - 配置リソースを増やしても安定してサービスチェーン要求を処理できない
- 今後の課題
 - 既存の VNF 配置手法との比較
 - ペリフェリとなる VNF の配置方法の検討

Osaka University 11

[[8] C. Giakou, D. M. Thilikos, and M. Vazirani, "D-core: measuring Collaborational directed graphs based on degeneracy," Knowledge and Information Systems, vol. 35, pp. 311-343, May 2013.

サブグラフ分解メトリクス [8]

- ノードの度数だけでなく有向辺についても着目することでコアポレーティブな集合を得る分解法
- 有向グラフを分解してサブグラフ $DC_{k,l}$ を切り出し
 - $DC_{k,l}$ は構成するノードの最低出次数が k 、最低入次数が l となる最大のサブグラフ
- 得られたサブグラフがコアであるかの指標は無いので別途評価

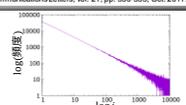


Osaka University 12

[[11] Y. Nam, S. Song, and J.-M. Chung, "Clustered NFV service chaining optimization in mobile edge clouds," IEEE Communications Letters, vol. 21, pp. 350-353, Oct. 2017.

サービスチェーン要求の生成

- サービスチェーン要求の実測データは存在しない
 - 標準化の策定段階にあるため
- 偏在性にもとづく生成モデル^[11]
 - 要求される VNF の偏在性をジップの法則でモデル化
 - パラメータ α が増加すると偏在性も増加
- 生成の手順
 - 一つサービスチェーン要求は以下で生成
 - リクエストされる VNF 数を 10~20 の範囲で一様な確率で決定
 - リクエストされる各 VNF をジップの法則にしたがって決定



ジップの法則

$$p_j = \Omega / j^\alpha$$

$$\Omega = 1 / \sum_{i=1}^N \frac{1}{j^\alpha} \cong 1 / \int_1^N \frac{1}{j^\alpha} dj = \frac{1 - \alpha}{N^{1-\alpha} - 1}$$

p_j : j 番目の VNF が要求される確率
 j : j 番目に偏在性の高い VNF
 N : VNFの総種類数
 α : パラメータ定数

ダブル被覆率の定義式

- $A(k, l, t_1, t_2) = \frac{|LE(k, l, t_1, t_2)|}{|L(t_2)|}$
- $|LE(k, l, t_1, t_2)| = \{x | x \in L(t_2), x \in E(DC_{k,l}^{t_1})\}$
 - $A(k, l, t_1, t_2)$: ダブル被覆率
 - DC : サブグラフ
 - E : サブグラフを構成する有向辺集合
 - L : 全サービスチェーン要求に含まれるタブルの集合
 - k : 最低出次数
 - l : 最低入次数
 - t_1 : サブグラフを得た時刻
 - t_2 : サービスチェーン要求の時刻