

コアペリフェリ構成を用いた
仮想化ネットワーク機能配置の
効率性および安定性の評価

大阪大学 大学院情報科学研究科
村田研究室 津久井佑樹

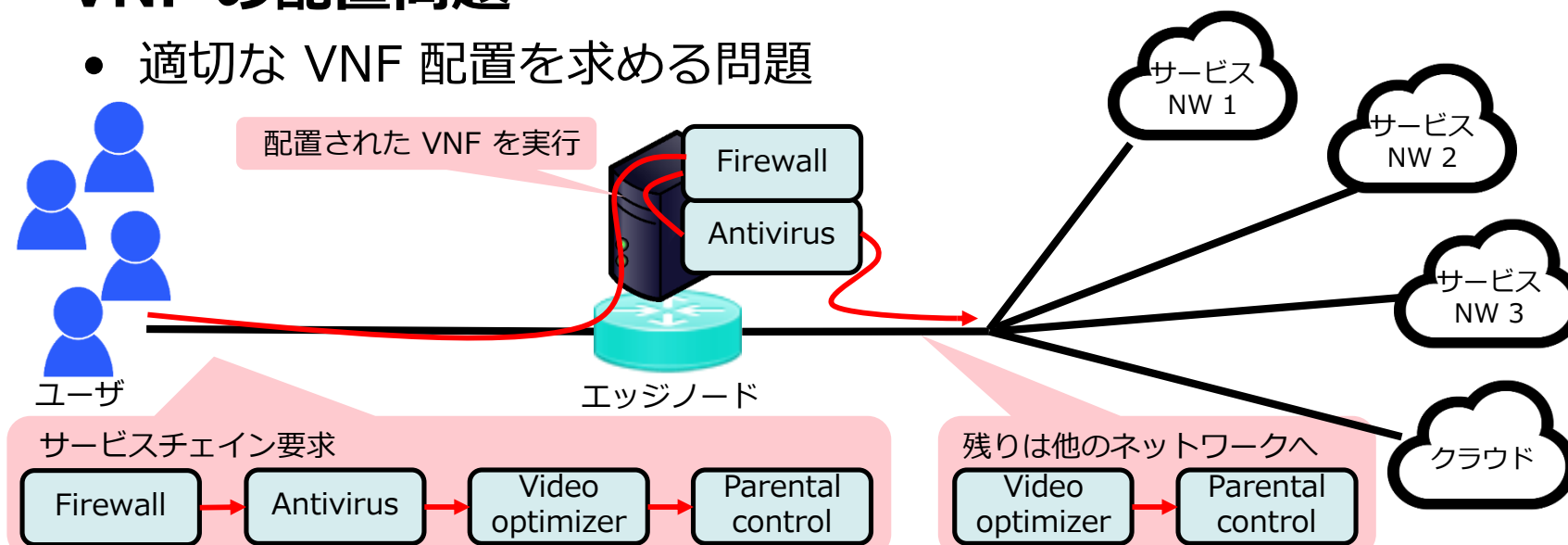
NFV (Network Function Virtualization)

● 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



VNF 配置問題へのアプローチ

● 既存研究: 最適化手法

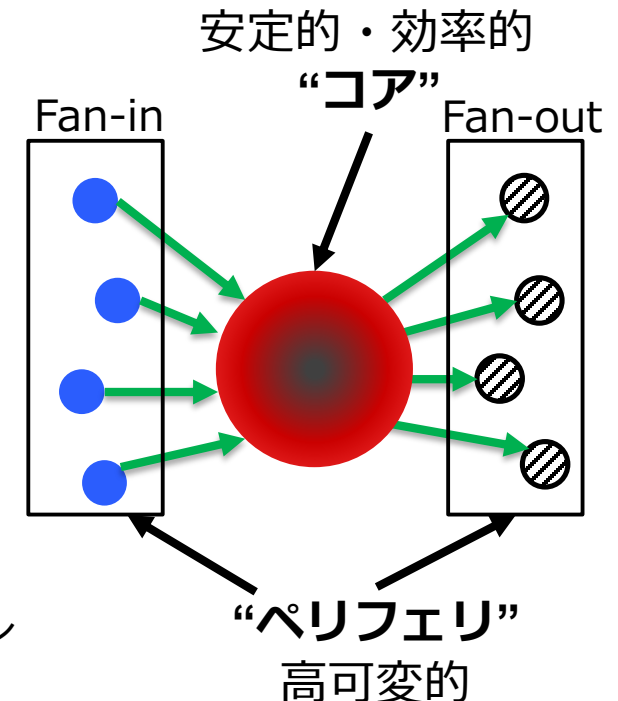
- 配置コスト最小化と負荷分散の観点から最適な VNF 配置を導出 [5]
- ある時点での VNF 配置を最適化するが、一方で課題も存在
 - システム全体を最適化するため膨大な計算時間が必要
 - 再配置時に多数の変更が必要となり組み替えコストが増加することが懸念される

● 既存研究の課題解決のため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

● コアペリフェリモデルを応用した VNF 配置への期待

- 全体最適化を回避し組み替えコストを削減した VNF 配置の実現
 - コアに分類される VNF による効率的なサービス提供
 - ペリフェリに分類される VNF によるサービスチェーン要求の変化への柔軟な適応



NFV へのコアペリフェリモデルの適用

- **コアペリフェリモデルによる NFV の解釈**
 - コア: 頻繁に実行される VNF
 - ペリフェリ: それ以外の VNF
- **NFV へコアペリフェリモデルへ適用するときの課題**
 - 適切なコアサイズ (コアを構成する VNF 数) が不明
 - 実行頻度の高い VNF のどこまでをどのようにしてコアとみなすか
 - 適切なコアサイズを決定するとペリフェリも決定可能
 - コアとペリフェリに分類した VNF の適切な配置方法が不明
 - コアやペリフェリとみなした VNF 集合を物理ネットワーク上にどのように配置すればよいか

NFV とコアペリフェリモデルの対応

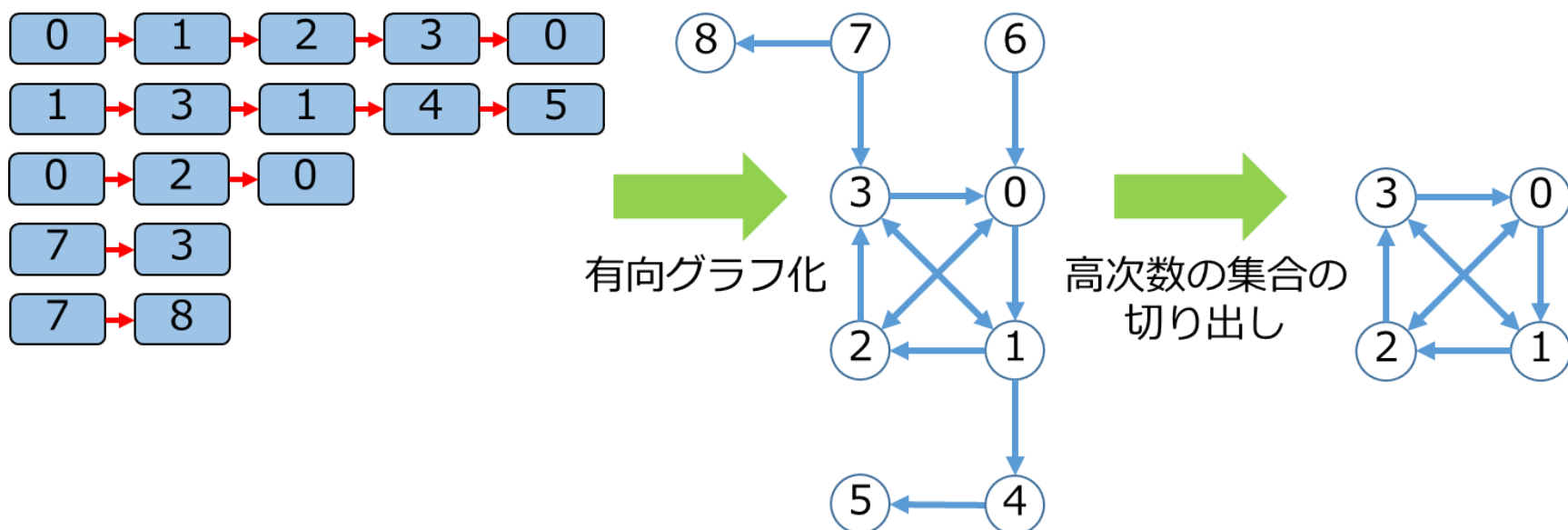
NFV	コアペリフェリモデル
頻繁に実行される VNF	安定的なコア
それ以外の VNF	環境に応じて変化するペリフェリ

研究の目的

- **VNF コアの抽出法を考案**
 - NFV においてコアとなる VNF 集合を VNF コアと呼称
 - 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
- **コアサイズに対するコアのサービスチェーン要求の処理能力を評価**
 - 評価項目 1: 効率性の評価
 - 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
 - 評価項目 2: 時間的な安定性の評価
 - サービスチェーン要求が変化した際にコアの処理能力が安定しているか
 - コアサイズに対する評価によりコアペリフェリモデルを応用した VNF 配置の指針を得る

VNF コアの抽出

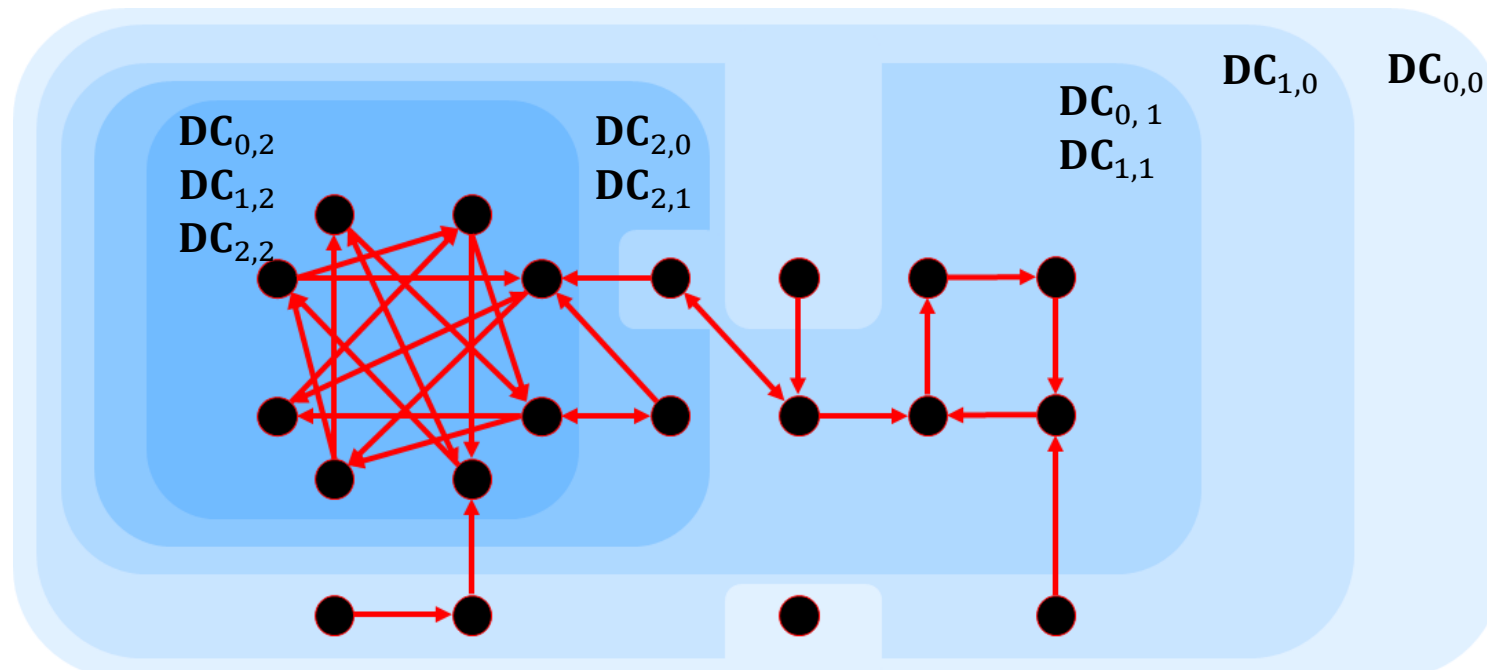
- サービスチェーン要求を有向グラフ化
- 次数の高い集合を有向グラフにおけるコアと認識
 - 実行頻度の高さが次数に反映されるため
- コアとなる集合を得るため、有向グラフをサブグラフに分解
- コアサイズの上限を満たしタプル被覆率が最も高い VNF 集合を VNF コアとみなす



サブグラフ分解メトリック [8]

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

- 頂点の次数をもとに有向グラフをサブグラフに分解する手法
 - 頂点間の有向辺も考慮し密集集合を段階的に得ることが可能
- 有向グラフをサブグラフ $DC_{k,l}$ へ分解
 - $DC_{k,l}$ は最低出次数が k 以上、最低入次数が l 以上の頂点で構成された最大のサブグラフ
 - k, l が増加すると、より狭い範囲のサブグラフが得られる



VNF コアの評価指標

• タプル被覆率

- タプル: 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プルのうち、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

• タプ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プル被覆率の減少が小さいほど高い安定性

タプル被覆率A

$$C_{k,l}(t_1, t_2) = \frac{|LE_{k,l}(t_1, t_2)|}{|L(t_2)|}$$

$$LE_{k,l}(t_1, t_2) = \{x | x \in L(t_2), x \in E(\mathbf{DC}_{k,l}^{t_1})\}$$

$C_{k,l}(t_1, t_2)$: タプル被覆率

DC: サブグラフ

E : サブグラフを構成する有向辺集合

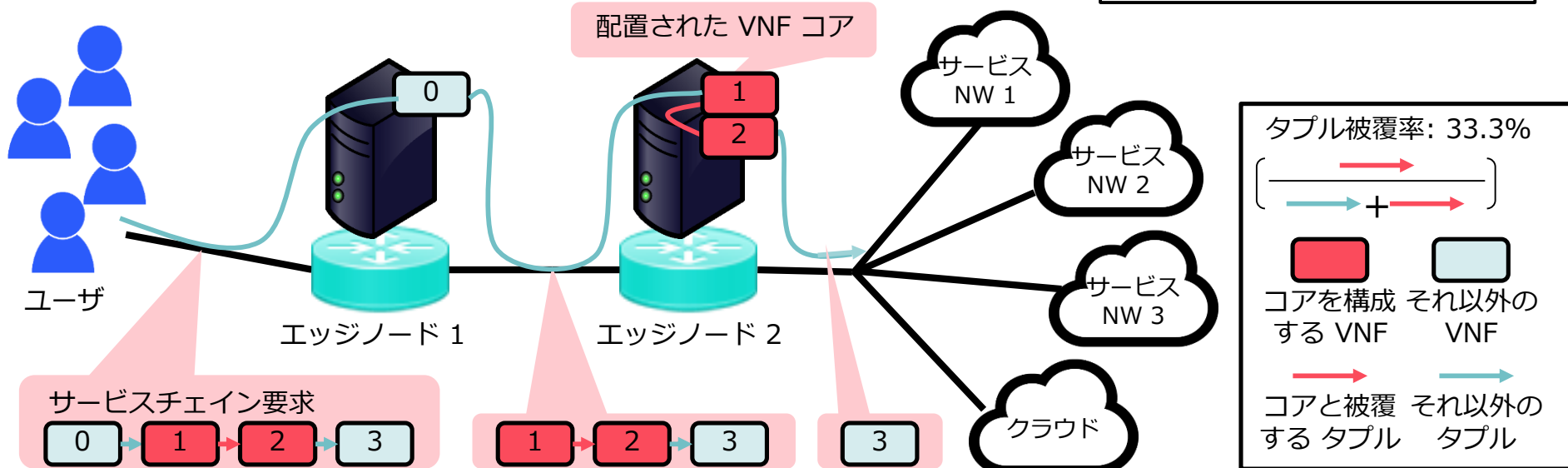
L : 全サービスチェーン要求に含まれるタプルの集合

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



実測データを用いた評価方法

- **実測的なサービスチェーン要求データを用いた評価は困難**
 - NFV の実運用データがないため
- **実測的な経路データを用いてまず評価**
 - NFV とは異なるが情報流の観点では一定の類似性があると考えられる
- **経路データとして AS パスデータ [9] を使用**
 - RouteViews プロジェクトのサーバで収集された BGP テーブルより抽出
 - 抽出したデータは経年での一貫した比較が可能
 - ほぼ同一の ISP から BGP テーブルを収集しているため
 - トラヒックの通った AS をリストとして表現
 - Ex. "1, 2, 4, 7"、"2, 3, 4, 7"

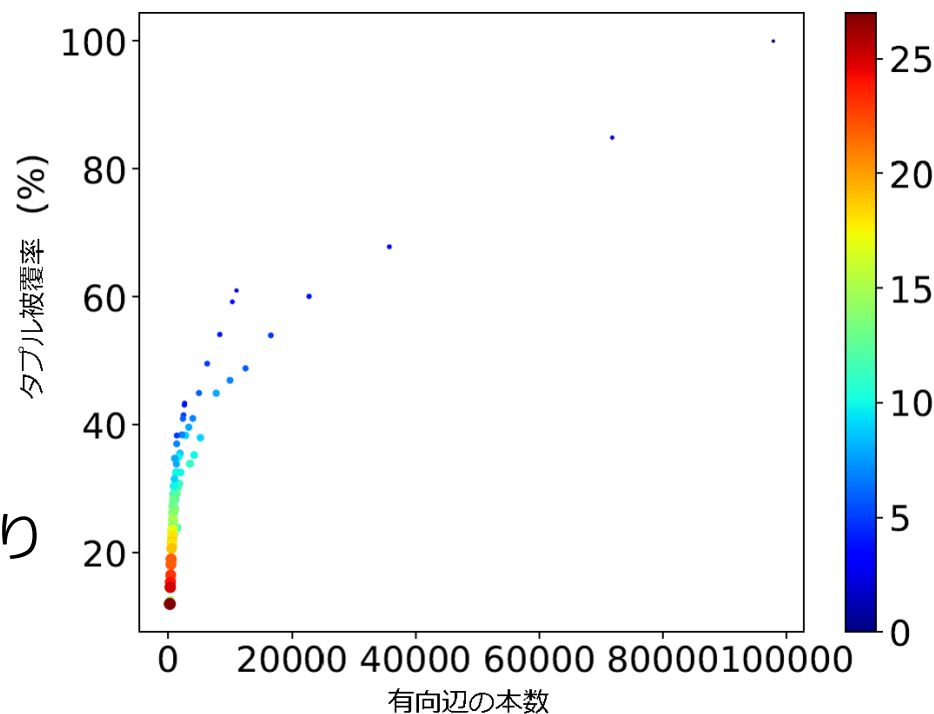
AS データを用いた効率性の定性評価

● 評価手順

- 2014 年 1 月 15 日 12 時の AS パスデータをサブグラフに変換
- 同時刻におけるサブグラフのタプル被覆率を導出
- サブグラフの有向辺の本数とタプル被覆率の相関を評価
 - 有効辺の本数 \propto 頂点数 (コアサイズ)

● コアサイズに対する効率性の増加量は変化

- ある大きさまではコアサイズの増加に伴いタプル被覆率も大きく増加
- ある大きさを超えるとコアサイズが増加してもタプル被覆率はあまり増加しない



注. カラーマップは $k + l$

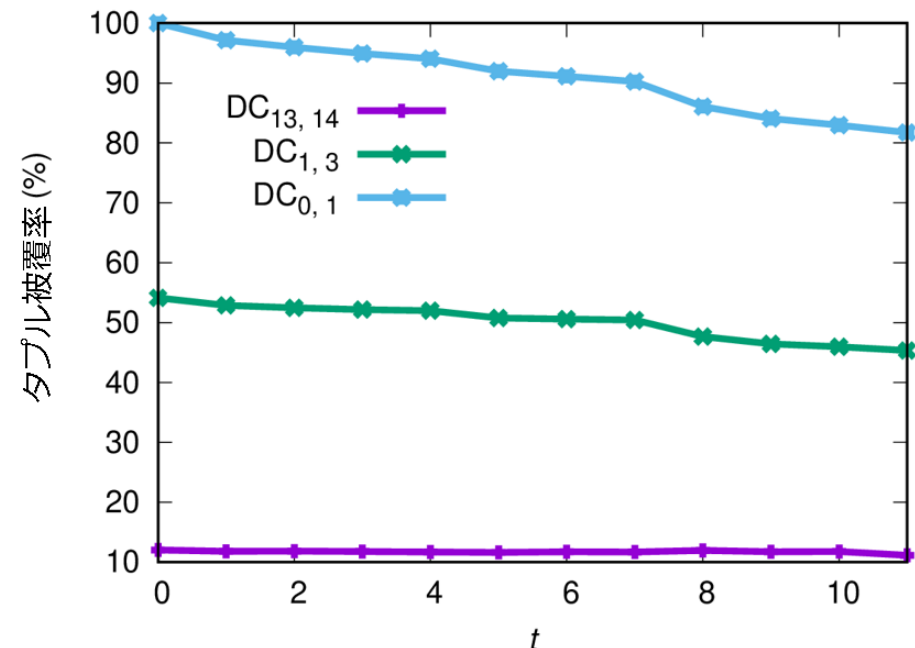
AS データを用いた安定性の定性評価

● 評価手順

- 2014年1月15日12時のASパスデータをサブグラフに変換
- 時刻 t が変化したときのタプル被覆率の変化を評価
 - 期間は2014年1月15日12時 ($t = 0$) から2014年12月15日12時 ($t = 11$) までの1ヶ月ごと

● コアサイズが小さいほど ASパスの変化に対して安定的

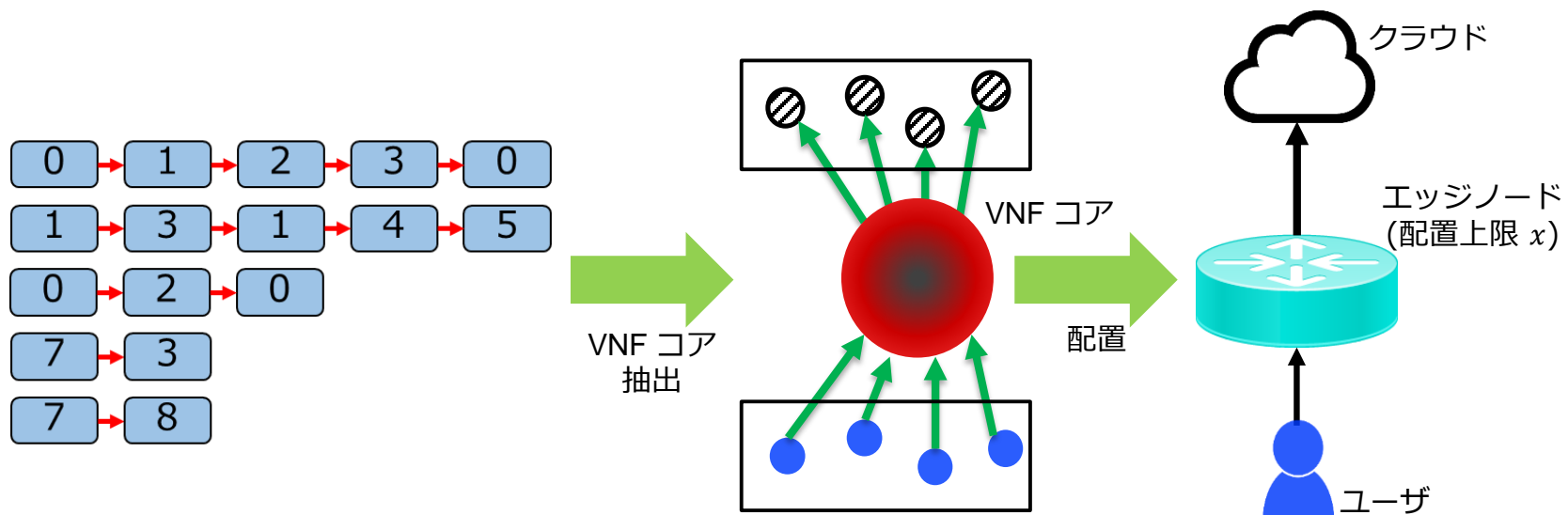
- $DC_{0,1}$ はコアサイズが最大でタプル被覆率の減少が多い
 - $DC_{13,14}$ はコアサイズが最小でタプル被覆率の減少が少ない
- ## ● コアの効率性と安定性の関係は トレードオフ



サービスチェーンの生成モデルを用いた評価方法

ネットワーク構成

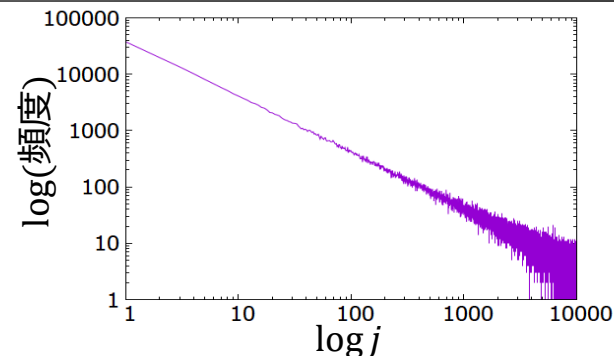
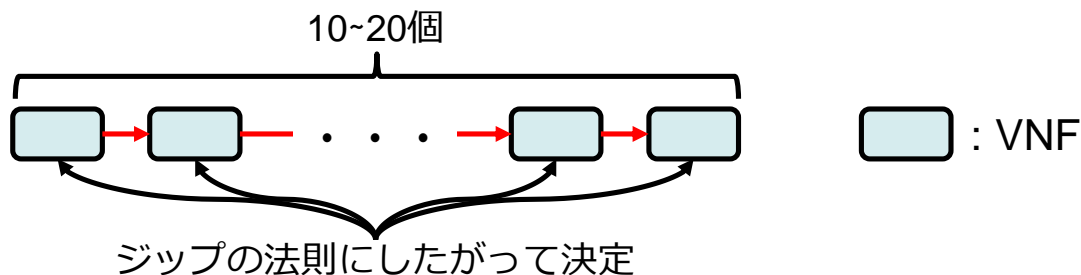
- ネットワーククラウドに接続された 1 台のエッジノード
 - 抽出した VNF コアをエッジノードに配置
 - エッジノードに配置可能な VNF 数の上限を x に設定
 - 配置上限 x がコアサイズの上限に相当
 - x 個の VNF を配置したとき最大 $x(x-1)$ 個のタプルを被覆可能



サービスチェーン要求の生成

[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.

- 評価にはモデルにより生成したサービスチェーン要求を使用
- 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 が増加したとき偏在性が増加
- 生成の手順
 - 一つのサービスチェーン要求は以下で生成
 1. 含まれる VNF 数を 10~20 の範囲で一様な確率で決定
 2. 含まれる各 VNF をジップの法則にしたがって決定



ジップの法則

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

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

$$= \frac{1 - \alpha}{N^{(1-\alpha)} - 1}$$

p_j : j 番目の VNF が要求される確率

j : j 番目に要求されやすい VNF

N : VNF の総種類数

α : パラメータ定数

効率性の評価

● 評価手順

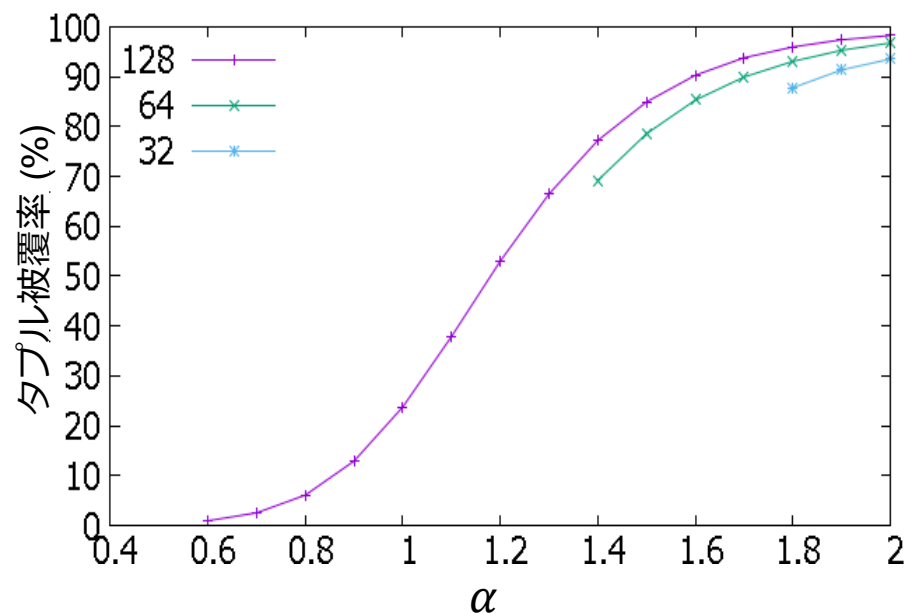
- エッジノードに配置可能な VNF 数の上限は 128, 64, 32
- 偏在性のパラメータ α が異なるサービスチェーン要求を生成
- 各サービスチェーン要求から VNF コアを抽出しタプル被覆率を導出

● サービスチェーン要求の変化で効率性が変化

- α が高いとき効率性が増加
 - 少ない VNF で高いタプル被覆率
- α が低いとき効率性が減少
 - 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

サービスチェーン要求
生成時のパラメータ

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
偏在性のパラメータ α	[0.1, 2.0]



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

安定性の評価

● 評価手順

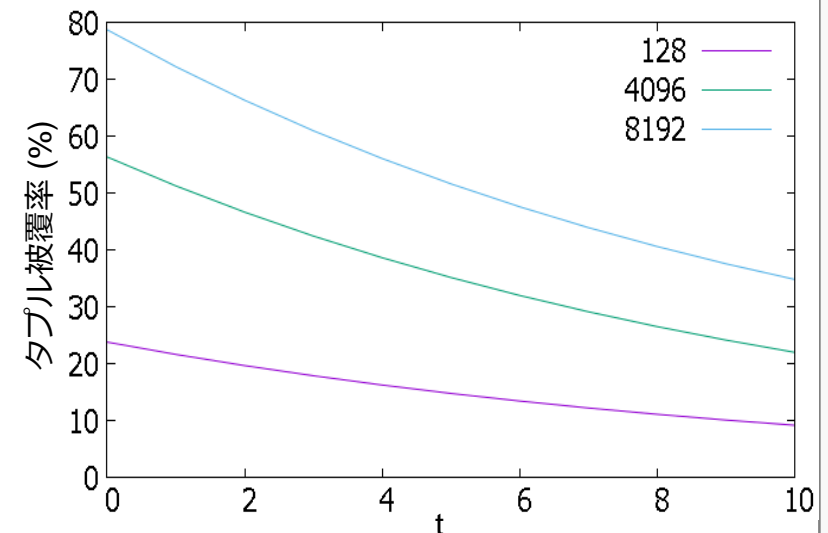
- エッジノードに配置可能な VNF 数の上限を 128, 4096, 8192 に設定
- 時刻 $t = 0$ にてサービスチェーン要求を生成し VNF コアを抽出
- 1 単位時間ごとにサービスチェーン要求を追加生成
 - 含まれるタプルが 1.1 倍になるように追加
 - 追加時、要求される VNF は一様な確率で決定
- VNF コアのタプル被覆率の変化を導出

$t = 0$ でサービスチェーン要求を生成したときのパラメータ

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
偏在性のパラメータ α	1.0

● コアサイズが小さくとも安定性が低く再配置が必要

- 要求が分散するため
- 要求が分散する場合は VNF の配置変更の頻度をあげるといった工夫が必要



注. サービスチェーン要求を10回生成した平均

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を抽出法を考案**
- **考案したコア抽出法を用いて実測データである AS からコアサイズに対する効率性と安定性の定性的な特徴を評価**
- **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
 - サービスチェーン生成モデルの改善

ダブル被覆率の定義式

- $C(k, l, t_1, t_2) = \frac{|LE(k, l, t_1, t_2)|}{|L(t_2)|}$
- $|LE(k, l, t_1, t_2)| = \{x \mid x \in L(t_2), x \in E(DC_{k,l}^{t_1})\}$
 - $C(k, l, t_1, t_2)$: 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プルの集合
 - 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

タプルの変化の定義式

- $\frac{|L(t_2) \cap \overline{L(t_1)}|}{|L(t_1)|}$: 追加されたタプルの割合
- $\frac{|L(t_1) \cap \overline{L(t_2)}|}{|L(t_1)|}$: 削除されたタプルの割合
- L : 全サービスチェーン要求に含まれるタプルの集合
- $t_1, t_2 (t_1 > t_2)$: 時刻