

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19796

研究課題名（和文）5G網におけるリンク顕著性に着目したネットワークスライス共生環境構築手法の研究

研究課題名（英文）Saliency-based VNF Placement Method toward Coexistence of Multiple Slices on 5G Networks.

研究代表者

平山 孝弘（Hirayama, Takahiro）

国立研究開発法人情報通信研究機構・ネットワーク研究所ネットワーク基盤研究室・主任研究員

研究者番号：70745687

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：与えられたネットワークポロジータ上に、複数の仮想ネットワークスライスを効率的に収容するための仮想ネットワーク機能（Virtualized Network Function, VNF）の適切な配置を決定する手法を考案した。本研究では、グラフ内のノードの特徴を示す指標である顕著性に着目し、顕著性が高いノードに優先的にVNFを配置する手法を検討し、複数のネットワークスライスによるリソース競合を考慮した環境下において、既存手法に比べて、リソースの不足によりスライスの規模拡張が棄却される頻度を抑制しノードへの負荷なども抑えられること、スライス拡張時のVNF移行コストを軽減できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Beyond 5Gおよび6G通信網では、高速低遅延、超大容量、超大量の端末による通信といった、目的に応じて性能要件が異なる様々なネットワークサービスを同時に収容する必要がある。要件が異なる様々なサービスは、論理的に分割された複数の仮想ネットワークスライス上に構築されると目されているが、本研究手法は、日々変化を続けるネットワーク環境においてスライスの性能を維持し続けるために、短時間で適切なVNFの配置を決定する手法であり、評価の結果、複数のスライスが混在しリソースの取り合いが起こる環境でもスライスの拡張を行える手法であることを示した。

研究成果の概要（英文）：We proposed a saliency-based virtualized network function (VNF) placement method for evolving multiple network slices. We revealed that our proposal determines the VNF placement on a given network topology, and it prevents the blocking probability of slice reconstruction induced by resource competition among multiple slices. In contrast to the existing approach based on the integer linear programming (ILP), our graph-theory-based method determines VNF placement in a short time. And, our placement method keeps VNF migration cost of slices when they are reconstructed low.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ネットワーク仮想化技術 ネットワークスライシング 複雑系ネットワーク

### 1. 研究開始当初の背景

サーバー・フィジカルシステムの基盤となる 5G のアーキテクチャにおいては、超高速通信 (eMBB)、大規模・省エネルギー通信 (mMTC)、超高信頼・低遅延通信 (URLLC) といった用途・特性が大きく異なる通信サービスを同時に収容することが求められる。その解決策が、ネットワークのリソースを論理的に分割しサービスを提供する、ネットワークスライシング技術である。ネットワーク機器の柔軟な設定を可能とする Software Defined Networking (SDN)、および仮想マシンによりネットワーク機能の追加・削除・移転を容易にするネットワーク仮想化 (Network Function Virtualization, NFV) の発展に伴い、ネットワークの機能・リソースを動的かつ柔軟に作り変えられるようになり、個々のサービスに特化した仮想ネットワークを容易に作成することが可能となった。ネットワークスライシングはその応用例の一つである。

複数のスライスの一つのネットワーク基盤上に構築する際には、個々のサービスを提供する仮想マシンを、ネットワーク内のどの物理マシン (サーバ) に配置し、ユーザを収容するのが適切かを考慮する必要がある。サービスによっては、ユーザ端末 (IoT デバイスやスマートフォンなど) の最寄りのサーバを使い、高速低遅延なサービスを提供する Multi-access Edge Computing (MEC) 技術を併用する必要があるが、ユーザ端末との通信遅延やサーバの計算負荷などを考慮したスライス設計を、施設配置問題と捉えて整数計画法などを用いて解くことは、計算量が膨大 (サーバ数  $\times 2^{\text{(スライス数} \times \text{ユーザ端末数)}}$ ) になり非常に困難である。更に、ネットワークスライスの利用者の数・品質要求は時々刻々と変化するため、スライスの性能を維持するためには、柔軟かつ迅速にスライスの規模を拡張するなどの再構成を行う必要があり、スライスの再設計は短時間で終わることが望ましい。

### 2. 研究の目的

本研究計画では、多数のネットワークスライスが同一の基盤上で共生する環境を想定し、物理サーバのリソースの競合を避けつつ、サービスの品質要求を満たすスライス構築手法を検討する。与えられたネットワークトポロジー上に、複数の仮想ネットワーク機能 (VNF) を提供するサーバとユーザ端末を繋ぐスライスを、ユーザ端末-サーバ間の通信遅延 (経路長) とサーバの計算負荷 (1サーバがサービスを提供するユーザ端末数) を考慮して構築する。利用するユーザ端末数の増減に合わせてスライスを拡張する Horizontal Scaling と、サービス数の増減に合わせてスライスの層を増やす Vertical Scaling の 2 方向の再構成が考えられ、本研究計画では、後者の Vertical Scaling に取り組み、多数のスライスが共生できる環境の構築を目指す。

Vertical Scaling では、一つのスライスではなく、複数のスライスが同じネットワーク上のリソースを利用するため、競合を避けつつ多数のスライスを収容することが望まれる。本研究計画では、複雑系科学の研究により得られた知見の一つである顕著性 (Saliency) に着目し配置を決定する。顕著性はネットワーク内の重要なリンクを抽出するための指標であり、各ノードを始点とする他ノードへの最短経路木 (SPT) を求め、それらを重ね合わせた結果、SPT が多く経由したリンクほど重要とみなされる。顕著性にもとづきスライスごとに適した VNF 提供サーバの配置を決定する手法を考案し、複数のネットワークスライス間のリソース競合を避けつつ Scaling が行える、ネットワークスライスが共生できる環境の実現を目指す。

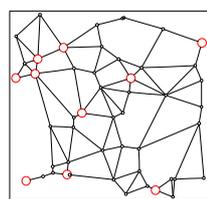
### 3. 研究の方法

与えられたネットワークトポロジー上に、スライス利用者 (ユーザ) の所在地の分布に適した VNF の初期配置、およびユーザ増加に合わせたスライス規模拡張時の再構成手法について検討する。

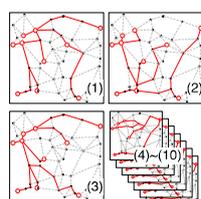
#### (1) ユーザ所在地分布に適した VNF 初期配置決定およびスライス再構築手法の検討

ユーザの所在地はスライスごとに異なるため、それぞれに適した VNF 配置

を決定する必要がある。そこで本研究では、スライスを利用するユーザ間を結ぶ SPT を算出し、各リンクの出現回数を与えられたユーザ分布に対する顕著性と定義した。



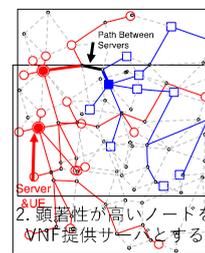
1. ユーザ所在地の確認



2. ユーザ間を結ぶ SPT 導出



図 2 ユーザ増加時のスライス拡張



2. 顕著性が高いノードを VNF 提供サーバとする

図 1 ユーザ所在地の分布に合わせたネットワークスライス構築 (VNF 配置決定) 手法

た。接続するリンクの顕著性の総和が高いノードに VNF を配置しスライスを構成する (図 1)。また、ユーザ増加時には顕著性を再計算し、顕著性が高いノード (上位  $f$  ノード) を VNF 配置先とし

スライスを再構成する(図2)。図2では、既設のVNF(赤ノード)を再利用しつつ、スライスを拡張(VNF(青ノード)の追加を行っている。

## (2) 複数スライス共生環境での有効性評価

上記の手法は1スライスの構築手法であるが、実環境では複数のスライスが混在し、リソースが競合するため、競合を避けつつスライスを再構成するシナリオでの評価を行う。具体的には、スライスを構築(再構築)する際に、(i)顕著性が高く、なおかつ十分な空きリソースを有するノードにVNFを追加すること、(ii)ユーザ-VNF間を結ぶリンクに十分な空きリソースがなければスライスの再構成は棄却される、という2つの制約下での、顕著性に基づくスライス構築手法を評価する。

## 4. 研究成果

### (1) 単一スライスにおける性能評価

計算機シミュレーションにより、単一スライスにおいて、ユーザ数の増減に合わせてスライスの規模(VNF提供ノード数)を増減させ、スライスを再構成(拡張または縮退)させるシナリオでの評価を行った。提案手法では、スライス拡張時(または縮退時)に再構成前のVNF提供ノードを引き続き利用できる確率(VNF提供ノード再利用率)が、ユーザ-CNF間の平均パス長を最短にする最適化手法に基づき再構成を行う場合に比べて大きく改善されることを示した(図3)。これは、スライス再構成の前後で、同じノードがVNF提供ノードとして選ばれやすいことを示している。本研究では、再利用される頻度が高くなる理由について解析的に議論を行い、ノードの追加(削除)の前後で顕著性の値が劇的には変化しないことがその要因であることを示した。また、計算時間の比較により、与えられたネットワーク・トポロジーの規模が大きくなるほど最適化手法は計算時間が肥大化するが、提案手法は大幅に計算時間を抑えられていることを確認した(図4)。なお、ユーザ-VNF間の平均パス長やノード負荷分散の性能も最適解に比べて大きく損なわれていないことを確認している。

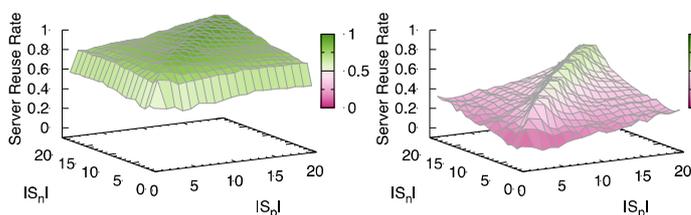


図3 VNF提供ノード再利用率の比較(左:提案手法、右:最適化手法)

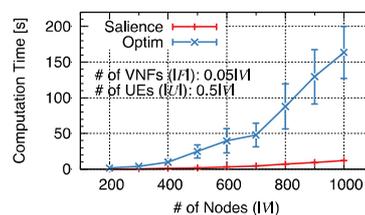


図4 ノード数に対する計算時間の比較

### (2) 複数スライスにおける性能評価

計算機シミュレーションにより、複数のスライスが同一ネットワーク上に共生し、それぞれがユーザ数の増加に伴い拡張を続ける環境での提案手法の性能を評価した。比較手法として、先行研究であるNode Importance(媒介中心性などの指標に基づき定義、図中Importance)に基づくVNF配置手法と比較を行った。図5-1および図5-2に示す通り、提案手法では、ユーザ-VNF間の平均パス長および、ノード負荷を先行研究と比べて低く抑えられていることが確認できる。また、スライス再構成時にVNFが他のノードへ移行される頻度は、スライスの規模(ユーザ(図中UE)数)に対して変化しないことも確認している(図5-3)。さらに、ノードおよびリンクの空きリソース量が十分でない場合は、スライスの再構成は棄却されるが、提案手法は先行研究と比べて棄却される確率を抑えられることを確認した(図5-4)。

こうした知見により、複雑性科学の知見である顕著性に基づくネットワークスライス構成・再構成手法は、複数のスライスが共生する環境でも応用できることが示された。

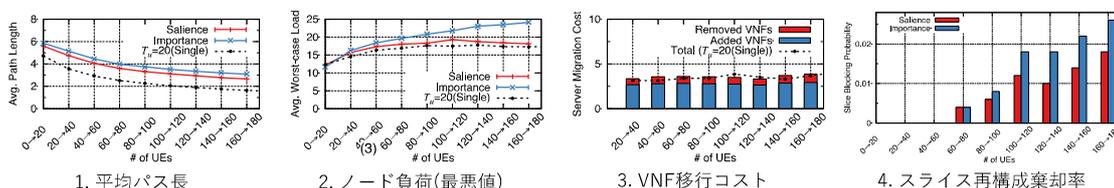


図5 複数スライス共生環境における性能評価(Node Importanceによる配置手法との比較)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 平山孝弘、地引昌弘、ベド カフレ
2. 発表標題 複数ネットワークスライスの規模拡張を考慮したリンク顕著性に基づくVNF配置決定手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------