

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14980

研究課題名（和文）サービスチェイニングにおける応用数理計画のアプローチに基づいた資源割当手法の研究

研究課題名（英文）Research on resource allocation method for service chaining based on approach of applied mathematical programming

研究代表者

佐藤 丈博（Sato, Takehiro）

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：40793279

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、仮想ネットワーク機能（VNF: Virtual Network Function）の順序制約を緩和するサービスチェイニングにおいて、実ネットワークシステムへの適用性が高いサービスチェインの経路およびVNFの配置決定方式の計算モデルを確立した。応用数理計画の手法の一つである列生成法を適用し、高精度な解を実用的時間内で得る手法を開発した。また、求解の過程で得られる暫定的な解をサービスチェインの制御に逐次反映することで、計算機資源やネットワーク資源の利用効率を段階的に改善する手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、VNFの順序制約を緩和するサービスチェインの経路およびVNFの配置決定問題において、適用可能なネットワーク規模およびVNFの実行順序による要求資源量の課題を解決し、実際のネットワークシステムへの適用可能性が高い計算モデルを提供した。本研究成果により、実ネットワークシステムにおいてサービスチェイニングを高い資源利用効率で運用する事が可能になる。これにより、トラフィック制御やコンテンツ配信等といったカスタマイズされたサービスを、より多数のユーザへ提供することが可能となると期待される。

研究成果の概要（英文）：This research established the computation model for service chaining that relaxes the order constraint of virtual network functions (VNFs). The model determines service chain routes and VNF placements with high applicability to real network systems. The computation method based on the column generation, which is one of the applied mathematical programming methods, was developed to obtain a high-accuracy solution within a practical time. In addition, this research developed a service chain control method that gradually improves the utilization efficiency of computation and network resources by adopting intermediate solutions found in the process of computing an optimal solution.

研究分野：通信工学

キーワード：ネットワーク仮想化 サービスチェイニング 資源割り当て 列生成法 ネットワーク制御

## 1. 研究開始当初の背景

パケットフィルタリングやファイアウォール、動画最適化等といったネットワーク機能を、汎用サーバ上で動作する仮想ネットワーク機能 (VNF: Virtual Network Function) として実装する、ネットワーク機能仮想化 (NFV: Network Function Virtualization) 技術の研究開発が近年活発に行われている。NFV では、従来専用のハードウェアで実装されていたネットワーク機能をソフトウェアとして実現することにより、ハードウェアの設置コストの削減や、ネットワークの需要変動に応じた性能の調整、機能の容易な追加・削除等を実現する。NFV のユースケースの一つとして、ネットワーク上でデータフローが複数の VNF を順番に通過するように経路制御を行い、ユーザ毎にカスタマイズされたサービスを提供する手法が検討されている。これをサービスチェイニングと呼ぶ。サービスチェイニングでは、各ユーザが要求する VNF の種類や伝送容量、遅延時間等の条件を満足するように、ネットワーク内におけるサービスチェーンの経路および VNF の配置を決定する必要がある。

サービスチェーンは基本的に、VNF を指定された順番に通過する必要がある。しかし、既存研究[1]において、ファイアウォール等の特定の種類の VNF は、実行順序を変更してもサービスの性能に大きく影響を与えない事が指摘されている。VNF の順序制約緩和により、サービスチェーンの経路や VNF の配置における柔軟性が向上し、より多くのサービスチェーンで VNF の共有が可能になる等、計算機資源やネットワーク資源の利用効率向上が期待できる。

VNF の順序制約を緩和するサービスチェーンの経路および VNF の配置決定問題は、既存研究[1]において整数線型計画法 (ILP: Integer Linear Programming) による計算モデルが初めて示されている。本計算モデルを基に、数値計画ソルバを用いて最適解を導出することが可能である。しかし、[1]の計算モデルでは以下の課題が解決されておらず、実際のネットワークシステムへの適用が困難であった。

### (a) 実用的時間内で最適解を導出可能なネットワーク規模が小さい

サービスチェーンの経路および VNF の配置決定問題は NP 困難な問題に属し、大規模なネットワークに対しては実用的な時間内で最適解を導出することが困難である。特に[1]の計算モデルでは、各ユーザが要求する VNF について、すべての VNF のペアの相対的な順序をパラメータで指定する手法を取っている。すなわち、制約式の数が VNF の種類数に対して 2 乗のオーダーで増加し、最適解の導出に多くの計算時間を要する。結果として、実際のネットワークシステムに本計算モデルを適用した際に、ユーザからの要求に応じてサービスチェーンの設定を行う際の即時性が損なわれる。

### (b) VNF の実行順序による要求資源量の変化が考慮されていない

サービスチェーンにおいて VNF の実行順序が変化した場合、必要となる計算機資源の量や伝送容量が変動する。例えば、パケットフィルタリングの VNF はパケットを破棄するため、トラフィック量を減少させる。したがって、ある VNF をパケットフィルタリングの前と後のいずれに配置するかによって、VNF を通過するトラフィック量が異なり、結果として必要な計算機資源量も異なる。[1]の計算モデルでは、各サービスチェーンが要求する計算機資源量や伝送容量を、VNF の実行順序に依存しないパラメータとして与える。したがって、サービスチェーン全体で必要となる最大の計算機資源量や伝送容量を各ノードやリンクで確保する必要があり、ネットワーク資源の過剰割り当てが発生する。

本研究では、VNF の順序制約を緩和するサービスチェーンの経路および VNF の配置決定問題において、これら(a)(b)の課題を克服し、実ネットワークシステムへの適用性が高い計算モデルを提供可能か、という問いを定めた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、VNF の順序制約を緩和するサービスチェイニングにおいて、実ネットワークシステムへの適用性が高いサービスチェーンの経路および VNF の配置決定方式の計算モデルを確立することである。サービスチェーンの経路および VNF 配置決定方式の研究においては、発見的アルゴリズムの適用により短時間で実行可能解を得る手法が多く検討されている。しかし、発見的アルゴリズムを用いた手法では最適解を得られる保証がない。したがって、短時間で最適に近い解を得るような計算モデル、もしくは計算機資源やネットワーク資源の割り当てが段階的に最適解へ近づくような計算モデルが必要である。本研究では、経路および VNF 配置決定問題の求解に応用数値計画の手法の一つである列生成法を適用し、高精度な解を実用的時間

内で得ることを目的とする。また、求解の過程で得られる暫定的な解をサービスチェーンの制御に逐次反映することで、計算機資源やネットワーク資源の利用効率を段階的に改善する手法を検討する。

### 3. 研究の方法

本研究では以下の小課題に取り組んだ。

#### (1) 列生成法を利用したサービスチェーン配備問題の計算モデルの研究

大規模なサービスチェーン配備問題を実用的時間内に高精度で解くことを目的として、変数が極端に多い線形計画問題を解くための手法である列生成法を用いたアルゴリズムを開発した。列生成法では、主問題に対して、何らかの実行可能解が得られる少数の制約式のみを持つ双対問題を作成する。目的関数の値を改善する制約式を段階的に追加することで、主問題の最適解の近似を得る。列生成法の適用により、高精度な近似解を短時間で得られる可能性があることが知られている。サービスチェーンの配備問題を複数の部分問題に分割し、列生成法が適用可能となるように問題の定式化を行った。計算機シミュレーションにより、開発したアルゴリズムを用いて得られた実行可能解と、既存研究における計算モデルを使用して導出した最適解を比較し、得られた解の精度および計算時間の評価を実施した。

#### (2) VNF の実行順序に応じた要求資源量の変化に対応する計算モデルの研究

サービスチェーンニングにおいて、VNF の実行順序に依存して計算機資源や伝送容量の要求量が増える計算モデルを確立した。VNF の実行順序による要求資源量の変化について、計算モデル内での表現手法を定めた。また、計算時間の増大に対処するために、計算モデル内で考慮する VNF の実行順序のパターン数を制限する手法を開発した。計算機シミュレーションにより、要求資源量の変化を考慮したことによる資源利用効率の向上、および、実行順序のパターンの数を制限することによる計算時間の短縮効果について評価を実施した。

#### (3) サービスチェーン制御手法の実システムへの適用可能性に関する研究

サービスチェーン配備問題を解く過程で得られる暫定的な解に応じて、ネットワーク上の VNF 配置を段階的に改善する制御手法について開発を行った。提案手法は 2 つのステップから成り、最初に発見的アルゴリズムで得られた VNF 配置を用いてサービスを開始した後、最適な VNF 配置の計算を開始する。最適解の計算途中で発見された実行可能解を、あらかじめ定められたポリシーにしたがってネットワークに適用する。これにより、許容可能な再構成コストの範囲内で、ネットワーク上に配置される VNF の数を効率的に削減することが可能になる。計算機シミュレーションにより性能評価を実施し、VNF の配置数の削減効果を確認した。

### 4. 研究成果

#### (1) 列生成法を利用したサービスチェーン配備問題の計算モデルの研究

本研究で検討したサービスチェーン配備問題では、リンク使用時に発生するコストと、VNF を配置するために必要なコストについて考慮し、両コストの合計を最小化するように目的関数を設定した。サービスチェーン配備問題は VNF 配置問題と経路決定問題に分けて考えることが可能である。問題の分析の結果、本アルゴリズムでは経路決定問題に列生成法を適用することとした。

図 1 に本アルゴリズムの概略を示す。

VNF 配置問題では、各サービスチェーン要求に対して、VNF が送信元ノードと宛先ノードの中間地点に配置されるような VNF の配置を求める。RMP (Restricted Master Problem) では、経路の選択肢が制限された状態で、サービスチェーン要求の集合に対し、コストを最小化するような経路を求める。PP (Pricing Problem) ではサービスチェーンの要求ごとにコストの削減が可能な経路の候補の探索を行う。

提案アルゴリズムを用いた場合の、サービスチェーン提供にかかるコストと計算時間について、性能評価を行った。ネットワークは 50 ノード 88 リンクのものを用い、サービスチェーンの要求数は 5 個から 300 個まで変化させた。ILP 問題を解いて最適解を得る場合、計算時間の増加により要求数が 20 個以上では解を得ることが不可能になるが、提案アルゴリズムでは要求数が上限の 300 個まで解を得ることが可能であった。最適解に対するコストの増加量は、リク

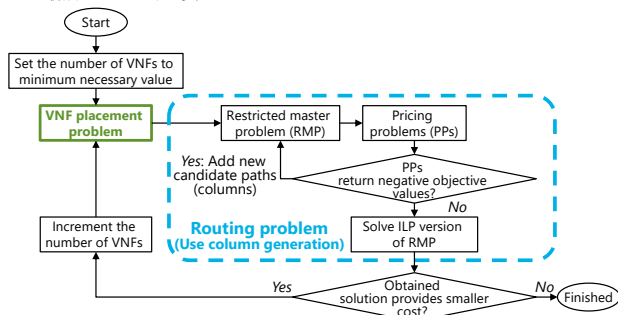


図 1 列生成法を用いたアルゴリズム

エラスト数が 15 の場合で 0.6%であった。また、経路決定問題を列生成法ではなく ILP 問題で解いた場合との比較を行った。要求数が 200 個以上の場合、同等のコストで、提案アルゴリズムの方が計算時間を短縮可能であることが分かった。これにより、列生成法による計算時間短縮効果が、大規模な問題でより大きく現れることが確認された。

### (2) VNF の実行順序に応じた要求資源量の変化に対応する計算モデルの研究

本研究では、VNF の実行順序によるトラフィック量変化を考慮して、VNF の実行順序、経路、VNF の配置を柔軟に決定するサービスチェーン配備モデルを確立した。トラフィック量が決定変数として与えられ、順序制約を表すパラメータが最適化問題に導入されている場合、目的関数や一部の制約式が非線形となり、数理計画ソルバで解を探索することが困難になる。そこで、提案モデルでは、トラフィック量をあらかじめ計算して定数として与えることで、最適化問題を ILP 問題として定式化した。

順序制約を満足する VNF の実行順序パターンを全て考慮すると、実用的な時間で経路や VNF の配置を得ることが難しくなる。そこで、順序パターンの数を制限し、コストを最適値に可能な限り近く保ちながら計算時間を短縮する手法を導入した。ネットワーク全体でトラフィック量が抑制されるような実行順序パターンをアルゴリズムによって決定し、それを用いて ILP 問題を解く設計とした。

VNF によるトラフィック量変化を考慮した場合の資源利用効率を、計算機シミュレーションにより評価した。6 個のノードと 8 本のリンクからなるネットワークトポロジを使用した。VNF は 5 種類とし、それぞれのトラフィック量変化倍率を 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0 とした。各要求は 3 種類以上 5 種類以下の VNF をランダムに選択するとした。VNF 間には順序制約を与えた。図 2 に総コストの比較結果を示す。トラフィック量変化を考慮した場合の方が、トラフィック量を一定とする場合と比較して、総コストを 34.4%削減することを確認した。これは、トラフィック量変化を考慮することにより、ネットワーク資源や計算資源の使用効率が高くなることを示している。

また、順序パターンの数を制限することによる計算時間の短縮効果を、計算機シミュレーションにより評価した。順序パターンの決定方法として、各要求に対して可能な全てのパターンを考慮する場合 (Case 1)、特定の 2 パターンを使用する場合 (Case 2)、特定の 1 パターンを使用する場合 (Case 3, 4)、最適化問題を解いて順序パターンを選択する場合 (Case 5) の 5 種類について比較した。図 3 および図 4 に、計算時間および総コストの結果を示す。Case 1 で得られる総コストは、提案モデルにおける最適値を表す。順序パターン数を制限する Case 2 から Case 5 では、コストと引き換えに、計算時間が Case 1 と比べて短くなっている。以上の結果により、提案手法でトラフィック量変化を考慮し、適切な順序パターンの選択をすることにより、実用的な計算時間でサービスチェーンニングにおけるネットワーク資源や計算資源の使用効率を向上可能であることが示された。

### (3) サービスチェーン制御手法の実システムへの適用可能性に関する研究

本研究では、図 5 のように計算機資源がクラウドからエッジにかけて階層的に配置されるネットワークシステムを想定した。接続されたデバイスに対して、ネットワーク上の適切な位置に VNF を配置し、デバイスが要求するタスク処理を行うためのサービスチェーンを構成するシナリオを想定した。

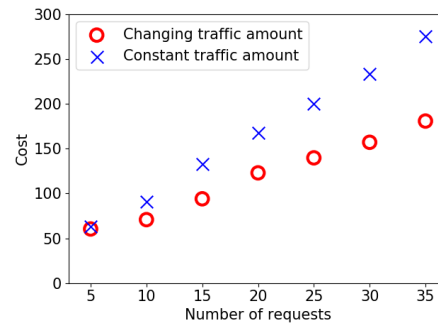


図 2 総コスト

(トラフィック量変化の考慮の有無による比較)

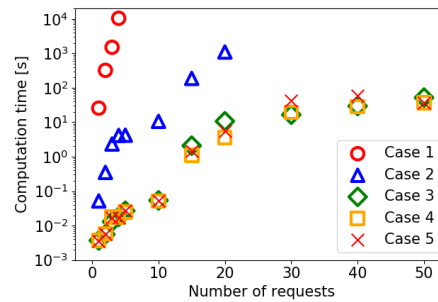


図 3 計算時間

(順序パターンの決定方法による比較)

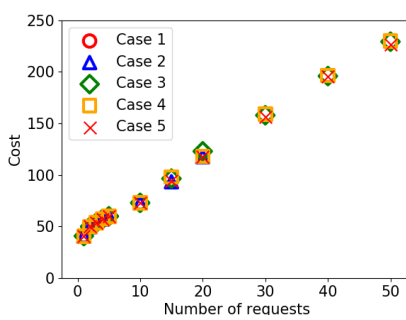


図 4 総コスト

(順序パターンの決定方法による比較)

提案する制御手法は、2つのステップから構成される。1つ目のステップでは、デバイスからタスク処理の要求が到着した際、コントローラは発見的アルゴリズムを用いて短時間で実行可能解を決定し、ネットワーク上にVNFを配置する。これにより、デバイスが短時間のうちにサービスチェーンを利用可能とする。2つ目のステップでは、ソルバがネットワーク上に配置されるVNFの数を最小化する最適化問題を解く。ソルバが最適化問題を解く過程で、暫定的なVNF配置の解が順次発見される。発見される解の性能は、計算時間が経つにつれて改善する。コントローラは発見された解のうち、ポリシーにしたがって適切なものを選択し、ネットワーク上のVNFの配置を再構成する。これにより、ネットワーク上の計算機資源を長期的な観点で有効利用する。

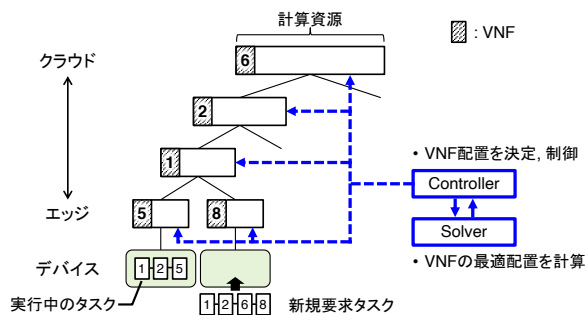


図5 階層型のネットワークシステム

発見された解を採用するタイミングを決定する際には、VNFの配置を再構成した際に既存のVNFをマイグレーションするコスト（再構成コスト）と、ソルバが発見した解と実際の資源割り当てとのVNFの数の差（ギャップ）を考慮する。“Average reconfiguration”ポリシーでは、再構成コストの時間平均値の上限を設定し、制御を行う各タイムスロットにおいて、再構成コストの平均が上限を越えなければ再構成を行う。“Improvement reconfiguration”ポリシーでは、再構成を行う際のギャップと再構成コストの比が一定値以上の場合に、再構成を行う。

計算機シミュレーションにより、2種類のポリシーをそれぞれ適用した場合の提案手法の性能評価を行った。最適化問題の計算過程で発見される解を用いず、最終的に得られた解のみを使用して制御を行う場合と比較した。ネットワークは7段、デバイスは64個、VNFは全8種とした。100タイムスロット経過後の、累積の再構成コストおよびギャップを比較した。図6に、各方式における累積再構成コストと累積ギャップの関係を示す。図6には9回の試行の結果をプロットしている。提案手法は、ソルバが最終的に出力する解のみを使用して制御を行う場合と比較して、再構成コストの増加と引き換えに、累積ギャップを小さくすることを示した。これにより、提案手法では計算機資源がより効率的に使用されることが示された。

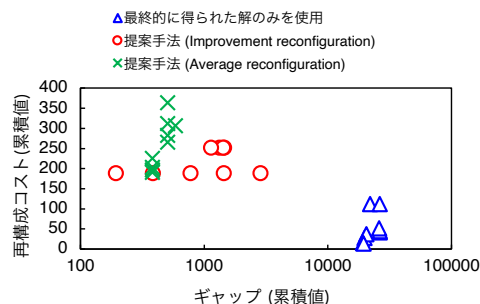


図6 累積再構成コストと累積ギャップ

#### (4) まとめ

本研究では、VNFの順序制約を緩和するサービスチェーンの経路およびVNFの配置決定問題において、適用可能なネットワーク規模およびVNFの実行順序による要求資源量の課題を解決し、実際のネットワークシステムへの適用可能性が高い計算モデルを提供した。上記の研究成果はIEEEや電子情報通信学会といった国内外の学会で発表され、評価を得た。本研究成果により、実ネットワークシステムにおいてサービスチェーニングを高い資源利用効率で運用する事が可能になる。これにより、トラフィック制御やコンテンツ配信等といったカスタマイズされたサービスを、より多数のユーザへ提供することが可能となると期待される。

#### (参考文献)

[1] Z. Allybokus, N. Perrot, J. Leguay, L. Maggi, and E. Gourdin, “Virtual function placement for service chaining with partial orders and anti-affinity rules,” *Networks*, vol. 71, no. 2, pp. 97–106, Mar. 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Seiki Kotachi, Takehiro Sato, Ryoichi Shinkuma, Eiji Oki	4. 巻 E105-B
2. 論文標題 Fault-tolerant Controller Placement Model by Distributing Switch Load among Multiple Controllers in Software-defined Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 533-544
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2021EBP3090	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Seiki Kotachi, Takehiro Sato, Ryoichi Shinkuma, Eiji Oki	4. 巻 E104-B
2. 論文標題 Multicast Routing Model to Minimize Number of Flow Entries in Software-Defined Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 507-518
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2020EBP3064	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Sato, Eiji Oki	4. 巻 E103-B
2. 論文標題 Program File Placement Strategies for Machine-to-machine Service Network Platform in Dynamic Scenario	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1353-1366
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2020EBP3001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Sato, Fujun He, Eiji Oki, Takashi Kurimoto, Shigeo Urushidani	4. 巻 1
2. 論文標題 Experiment and Availability Analytical Model of Cloud Computing System Based on Backup Resource Sharing and Probabilistic Protection Guarantee	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Open Journal of the Communications Society	6. 最初と最後の頁 700-712
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/OJCOMS.2020.2994995	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Narumi Kiji, Takehiro Sato, Ryoichi Shinkuma, Eiji Oki	4. 巻 36
2. 論文標題 Virtual Network Function Placement and Routing for Multicast Service Chaining Using Merged Paths	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Switching and Networking	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.osn.2020.100554	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Sato, Eiji Oki	4. 巻 E103-B
2. 論文標題 Program File Placement Strategies for Machine-to-machine Service Network Platform in Dynamic Scenario	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1353-1366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2020EBP3001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 3件/うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Keigo Kono, Takehiro Sato, Eiji Oki
2. 発表標題 Gradual Control Method for Program File Placement in Hierarchical Cloud-Edge Platform
3. 学会等名 IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤丈博, 栗本崇, 漆谷重雄, 大木英司
2. 発表標題 【招待講演】仮想化ネットワークのグラフ設計および埋め込みモデル
3. 学会等名 電気関係学会関西連合大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takehiro Sato, Eiji Oki
2. 発表標題 Resilient Software-defined Network Controller Placement Based on Load Distribution
3. 学会等名 17th International Conference on IP + Optical Network (iPOP2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shintaro Ozaki, Takehiro Sato, Eiji Oki
2. 発表標題 Service Chain Provisioning Model Considering Traffic Amount Changed by Virtualized Network Functions
3. 学会等名 IEEE 22nd International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤丈博, 栗本崇, 漆谷重雄, 大木英司
2. 発表標題 仮想化ネットワークのグラフ設計および埋め込みモデルの性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takehiro Sato, Atsushi Kikuchi, Ryoichi Shinkuma, Eiji Oki
2. 発表標題 Column Generation Based Algorithm for Service Chaining Relaxing Visit Order and Routing Constraints
3. 学会等名 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Takehiro Sato, Takashi Kurimoto, Shigeo Urushidani, Eiji Oki
2. 発表標題 Virtualized Network Graph Design and Embedding Model
3. 学会等名 IEEE 9th International Conference on Cloud Networking (CloudNet 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤丈博, 大木英司
2. 発表標題 【招待講演】サービスチェイニングにおける仮想ネットワーク機能配置および経路決定モデル
3. 学会等名 電気関係学会関西連合大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takehiro Sato, Takashi Kurimoto, Shigeo Urushidani, Eiji Oki
2. 発表標題 Optimization Model for Virtualized Network Graph Design and Embedding
3. 学会等名 16th International Conference on IP + Optical Network (iPOP2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoki Hyodo, Takehiro Sato, Ryoichi Shinkuma, Eiji Oki
2. 発表標題 Resilient Virtual Network Function Placement Model Based on Recovery Time Objectives
3. 学会等名 IEEE 21st International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池淳, 佐藤丈博, 新熊亮一, 大木英司
2. 発表標題 順序制約と経路制約を緩和したサービスチェイン配備問題における列生成法を用いた発見的アルゴリズム
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤丈博, 大木英司
2. 発表標題 【招待講演】Machine-to-Machineサービスプラットフォームに向けたプログラムファイル配置問題
3. 学会等名 電気関係学会関西連合大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiki Kotachi, Takehiro Sato, Ryoichi Shinkuma, Eiji Oki
2. 発表標題 Multicast Routing Model to Minimize Number of Flow Entries in Software-Defined Network
3. 学会等名 Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takehiro Sato, Eiji Oki
2. 発表標題 Analysis of Network Architecture for Machine-to-Machine Service Network Platform
3. 学会等名 15th International Conference on IP+Optical Network (iPOP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------