

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18046

研究課題名(和文)分散SDN制御網におけるリンク顕著性に着目したコントローラ配置・追加位置決定手法

研究課題名(英文)Saliency-based Controller Placement and Addition Method for Distributed SDN

研究代表者

平山 孝弘(Takahiro, Hirayama)

国立研究開発法人情報通信研究機構・ネットワークシステム研究所ネットワーク基盤研究室・研究員

研究者番号：70745687

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文):与えられたネットワークポロジに対して、分散型のSDNコントローラの配置を決定する手法を考案した。NP困難な施設配置問題を解く従来のアプローチとは異なり、顕著性に着目してコントローラの配置を決定する手法を提案し、従来より少ない計算量で、コントローラ-スイッチ間の平均遅延を小さく抑える配置を求められることを確認した。

また、ネットワークノードの増減に合わせて、コントローラ数の増減/再配置を行う手法を考案し、新たな適用先として仮想化されたネットワーク(スライス)の設計に応用できることを示した。ノードの増減に応じてスライスを再構成する際に、提案手法は再構成時のコストを低く抑えられることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後のICT基盤を支える重要な要素技術である、SDNによる柔軟なトラフィック制御やNFVによる仮想資源を動的割当の実現には、監視と制御を行うコントローラが重要な役割を担う。コントローラにかかる負荷の集中を避けるには、複数のコントローラを分散配置することが有効だが、従来の整数計画法(施設配置問題)によるアプローチでは多大な計算時間が必要となる。そこで本研究計画では、顕著性という複雑系科学の知見を利用し、最適化問題に依らない新たなアプローチで、計算時間を抑えつつ分散型コントローラの配置を決定できることを示した。この知見は情報ネットワークに限らず、様々な施設配置問題に関連する課題への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文):We proposed a saliency-based controller placement method for distributed SDN. We revealed that our proposal determines the controller placement which shortens average hop-counts between switches and their nearby controllers, according to saliency, that is, one of characteristic measures of links in graphs, in a short time.

And also, we proposed controller addition/migration method based on saliency to correspond to increment/decrement of nodes. This method can be also applied for designing network slices on NFV (network function virtualization) infrastructure. As a result of simulation, we revealed our proposal keeps costs for slice reconstruction low, that is, the numbers of added/migrated controllers are kept low nevertheless the number of VNF (virtualized network function) servers are changed when the slice users increase/decrease.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ソフトウェア定義ネットワーク(SDN) 分散SDN制御 コントローラ配置問題 複雑系ネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ICTの役割として、人工知能の高度化により多数のIoTデバイスから収集したビッグデータを分析し、将来を予測し新たな価値を創出する、革新的なネットワーク技術を実現することが期待されている。一方、我が国では超少子高齢化社会が到来し、労働人口も減少することが予想され、将来のICT基盤には、少ない人的コストでインフラを管理・制御しつつ、新たなサービスを柔軟に提供できる基盤の実現が望まれる。ユーザが求めるサービス品質要件を認識し、ネットワーク内のハードウェア・ソフトウェア資源を自動配分するネットワーク基盤の実現には、柔軟なトラフィック制御を可能とするソフトウェア定義ネットワーク(SDN)や、仮想資源を動的に割り当てられるネットワーク仮想化(NFV)などの技術が有用であると考えられる。

なお、これらの技術においては、時々刻々と変化するネットワーク内のトラフィック量や需要、残存する計算機資源を把握し、適切な資源割当を行う管理機構(コントローラ)の役割が重要であるが、1個のコントローラによる中央集中型管理機構では、端末数の増加や要求の多様化への対応は難しい。そこで複数のコントローラを分散的に配置し、機器(以下、ノード)を制御する手法が考案されている。これまでも様々な配置決定手法が検討されているが、これらは既存の施設配置問題と同様に、整数計画問題などによりNP困難な問題の解を探索することで配置を決定するものが多く、多大な入力パラメータと多大な計算量を要する。加えて、静的なトポロジー上に制御網を構築するための手法や、単一障害発生時の復旧方法であるなど、ネットワーク規模の拡大やサービス需要の変化、障害発生による状況変化への対応を考慮するまでには至っていない。

2. 研究の目的

本研究計画では、分散制御基盤の実現に向けた分散コントローラ初期配置決定手法とコントローラ追加・移転先決定手法を検討する。具体的には、コントローラ-スイッチ間の平均経路長を抑えつつ、計算時間を少なく抑えてコントローラ初期配置を決定する手法、および、ネットワークの形状変化に合わせて新たなコントローラを設置、または既存のコントローラを移転する箇所を決定する手法について検討する。既存のコントローラ配置決定手法では、最適化問題を解くことで配置を決定するものが多いが、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 Saliency(顕著性)に着目し配置を決定する。Saliency 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、あるリンクの Saliency は、各ノードを始点とする他の全てのノードへの最短経路木(Shortest Path Tree, SPT)を求め、それらを重ね合わせた際に、SPT がそのリンクを経由した回数により定義される(計算量は $O(\text{ノード数の}^3)$ 以下)。本研究を通して、複雑系科学の知見は情報通信ネットワークへも応用でき、最適化問題に依らない新たなアプローチによる施設配置問題の解き方へも応用できることを示す。

3. 研究の方法

(1) コントローラ初期配置決定手法

まず、与えられたトポロジーに対して、分散コントローラの初期配置を決定する手法について検討する。CNT 初期配置決定手法では、トポロジーが与えられた際に、リンクの Saliency(顕著性)を参照し、 p 個の CNT を配置する手法を検討する(図 1)。Saliency が高いリンクを多く持つノードへ CNT を配置することで、最適解には劣るものの、少ない計算量で分散 CNT-SW 間の平均経路長を短く抑えた配置を決定可能であることを示す。

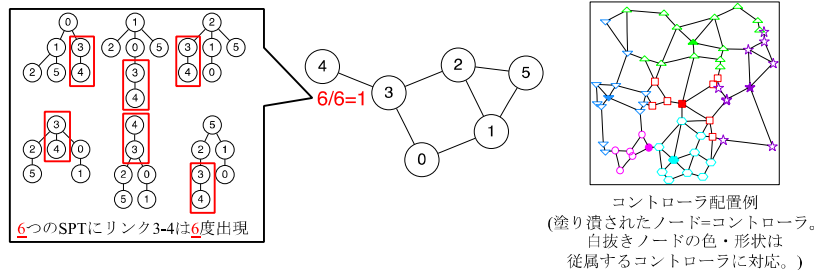


図 1 顕著性の定義(左・中央)とコントローラ配置の例(右)

(2) コントローラ追加位置決定手法の検討とスライス設計手法への応用

上記の配置手法をコントローラ追加位置決定手法へ拡張し、顕著性に基づくコントローラ配置は、ノード数の増減に合わせて Saliency の値を再計算し、コントローラを増設する際のコントローラの移転回数を少なく抑えられることを示す。加えて、近年の動向を踏まえて、新たな適用先として NFV におけるネットワークスライス設計に着目し、本手法を応用できることを示す。ネットワーク仮想化により、特定のサービスを提供するための、論理的に独立したネットワーク(スライス)を構築できるようになるが、スライスを利用者数の変化に応じて適宜最適な形に再構成(拡大や縮小)し効率化を図るためには、スライスの設計は短い計算時間で行えること、およびスライスの再構成コスト

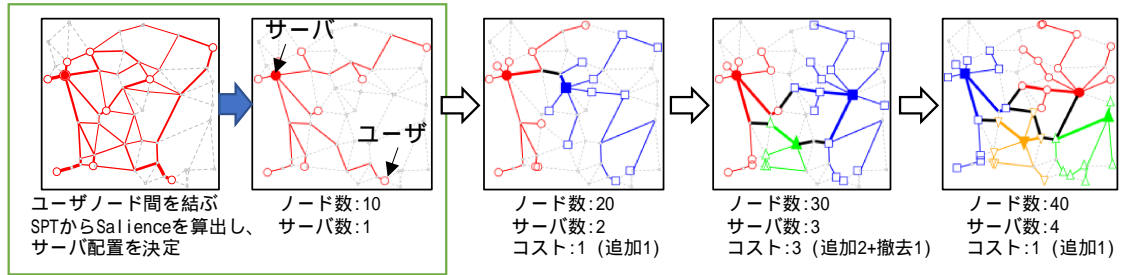


図 2 ユーザ数増加に合わせたスライス再構成と再構成コストの例

を考慮した設計を行うことが望まれる。そこで分散コントローラ配置手法を拡張することで、ネットワークスライスを構成する仮想マシンを収容するサーバの配置を決定する手法(図 2)を考案し、サーバの応答遅延を抑えつつ、スライスの拡大・縮小にかかるコスト(仮想マシンの移転回数)を抑えられることを示す。

4. 研究成果

(1) コントローラ初期配置決定手法

計算機シミュレーションにより、接続するリンクの Saliency 値の総和が高いノードへ順に ($r_c \times M$) 個 ($0 < r_c < 1, M$ はノード数) のコントローラを設置するという手法の性能評価を行った。その結果、リンクの特徴を表す指標として広く用いられる媒介中心性 (betweenness centrality) に比べ、NW 規模が拡大しても CNT-SW 間の平均経路長が変化しにくいことを示した(図 3)。

また、最適解と比較すると、配置算出時間を 10 分の 1 未満に抑えつつ、平均経路長の増加率を 13~15% 程度に抑えられることを確認した(媒介中心性では約 25%増加)。同手法は幾何グラフおよび実際のインターネットネットワークに対して有用であることを確認している。

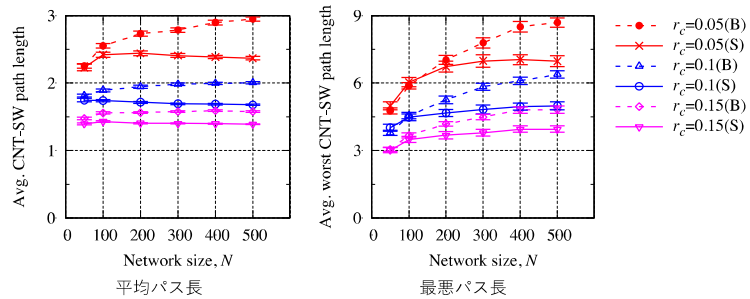


図 3 顕著性(S, 実線)と媒介中心性(B, 破線)に基づく配置の比較

(2) コントローラ追加位置決定手法の検討とスライス設計手法への応用

計算機シミュレーションにより、ネットワークスライスに接続するユーザー数の増加に合わせて、サーバを増設しスライスを再構成するシナリオにおいて、仮想マシン収容サーバの移転回数(再構成コスト)を評価した結果、提案手法によるスライス再構築(拡張)は、整数計画問題に基づく場合に比べて、少ないサーバ移転コスト(仮想マシン撤去数+増設数)で、スライスを再構築できることを確認した(図 4)。なお、提案手法のサーバ・ユーザー間の平均経路長は、最適解を 10% 程度上回る程度に留まる。この結果は、スライスを拡張する場合だけでなく、ユーザー数の減少に合わせてスライスを縮小しサーバを撤去する場合にも同様で、提案手法では、スライスの拡張・縮小どちらの場合も少ないコストで再構成を行えることを確認した。

こうした知見により、複雑性科学の知見である顕著性は、情報ネットワークに限らず、最適化問題に依らない新たなアプローチによる施設配置問題の解き方への応用も期待できる。

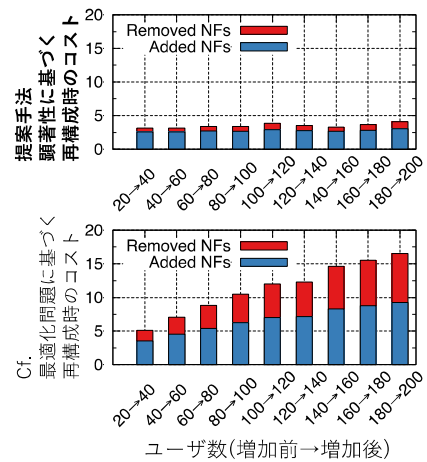


図 4 顕著性に基づくスライス設計の再構成コストの評価

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Takahiro Hirayama, Mashiro Jibiki Ved P. Kafle
2. 発表標題 Virtual Network Function Placement Method for Evolving Network Slices based on Saliency
3. 学会等名 IEEE CCNC (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平山孝弘、宮澤高也、Abu Hena Al Muktadir、原井洋明、ベド カフレ
2. 発表標題 分散型SDN制御プレーンにおけるリンク顕著性に着目したコントローラ配置決定手法の一検討
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 2018年

1. 発表者名 Takahiro Hirayama, Takaya Miyazawa, Abu Hena Al Muktadir, Hiroaki Harai and Ved P. Kafle
2. 発表標題 Saliency-based Distributed Controllers Placement in Software Defined Networks
3. 学会等名 IEEE Globecom (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----