

令和元年8月30日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00123

研究課題名(和文) 化学反応式モデルに基づくNFVサービスアーキテクチャの確立

研究課題名(英文) Constructing NFV service architecture based on biochemical reaction model

研究代表者

長谷川 剛 (Hasegawa, Go)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：00294009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、化学反応式を利用した空間拡散モデルに基づいて、NFVサービスにおいて、提供するサービスや機能を適切な場所で実行し、サーバ資源をそれらで効率よく共有する手法を提案している。提案手法では、サービスや機能を実行するサーバを個々のタプル空間とみなし、ユーザからのリクエスト量やサービスの需要量等を化学物質とし、サーバ内の局所的な状況を化学物質の濃度変化や拡散によって表現する。そして、その空間で、各サービスに対するリクエストをサーバ資源を用いて処理する反応式を定義し、それを実行することにより、サービスの需要に応じたサーバ資源の共有をシステム内の各デバイスの自律的な動作によって実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今やインターネットサービスに欠かせなくなった仮想コンピューティング・仮想ネットワーク環境における資源配分、サービス配置問題を、大規模環境においても適用可能な分散的アルゴリズムによって解決する方式を提案、評価したことによって、5Gネットワークにおけるネットワークスライシングなど、さらに拡大する仮想環境におけるリソース配分などを効率的に行うことができるようになり、様々なネットワークサービスを早期かつ適応的に導入可能となる。これらのことから、本研究成果の社会的かつ学術的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In Network Function Virtualization (NFV), various Virtual Network Functions (VNFs) are deployed on general purpose servers. To operate the NFV system, placement of VNFs on servers, resource allocation to each VNF, and flow routes are determined adaptively. Furthermore, to respond to environmental fluctuations, and to maintain the scalability of the NFV services, a distributed control is more feasible than a centralized one. One way to achieve such behaviors is to exploit a biochemical mechanism with autonomous dispersibility and self organization.

In this work, we have proposed a construction method of service space in virtualized network system based on biochemically inspired tuple space model. In this method, the behaviors in the virtualized network system are described by biochemical reactions in tuple spaces. To operate the NFV system, the method has been extended to handle flow routes in accordance with SFC requests, and server resource limitation.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：ネットワーク機能仮想化 Biochemical reactions Distributed algorithm NFV

# 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

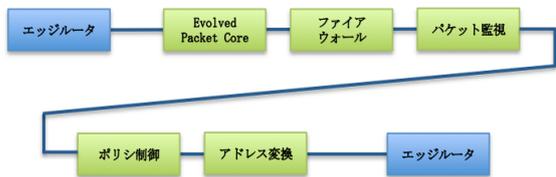
## 1. 研究開始当初の背景

既に実運用段階に入って久しいサーバ仮想化技術に比べると若干遅れているものの、ネットワーク仮想化、SDN (Software Defined Network) に関する研究開発が現在急速に進んでおり、米国大手モバイルネットワークキャリアでの導入や、国内ネットワークキャリアによる大規模実験が進んでいる。一方、ISP ネットワークやモバイルキャリアネットワーク等においては、NAT、ファイアウォール、IDS (侵入検知)、DPI (パケット監視)などの、通過するフロー(パケットの流れ)に対して何らかの処理を行う様々な「機能」がネットワーク内に導入されている。

従来このような機能は専用のハードウェアや単一機能を持つアプライアンスとして実現されてきた。しかし、仮想化環境の整備とサーバ性能の向上に伴い、NFV (Network Function Virtualization) と呼ばれるアーキテクチャが登場している。これは、ネットワーク内で適用される「機能」を、一般的なサーバの汎用 OS 上で動作するアプリケーションソフトウェアとして実行するものである。

NFV が実現されることによって、サーバ仮想化によるメリットと同様に、機能毎にハードウェア実装やアプライアンス実装が行われるのに対してハードウェアコストや消費電力の低下が期待されると共に、機能に対する需要の変化に柔軟に対応することができる。また、新しい機能の導入コストが低下するため、新たなネットワークサービスの導入が容易になる。

NFV には、ネットワークフローが要求する、トラフィックに対して適用する機能とその順序を表現するためのサービスチェーンという概念が存在する。例として、左図に、モバイルキャリアネットワークにおけるサービスチェーンの例を示す。この他にも、動画像のレート変換のような高度なサービスも NFV によって実現することも検討されている。



NFV におけるサービスチェーンの例

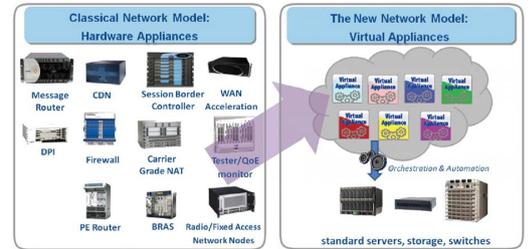
このようにサービスチェーン要求を持つフローがネットワーク内に多数存在する場合に、サーバへの各機能をどう配置し、各ネットワークフローに機能を適用するための経路どう決定するか、を明らかにすることは、NFV に基づくシステムの効率的な運用やネットワークフローの性能向上のために非常に重要である。この問題はデータセンタにおける仮想ネットワーク配置問題である VNE (virtual network embedding) 問題と類似している点もあるが、複数の機能をサーバ上で共存させることや、複数のフローがあるサーバ上の機能を共有することによって資源の効率的な利用が求められる点が大きく異なるため、VNE 問題で用いられている手法を適用することができない。また、どちらの問題も NP 困難であることが知られているため、何らかの発見的手法が求められる。しかし、NFV はコンセプトの発表や実現性をアピールするための実験的な実装が進んでいるのみであり、実際の利用を考慮した機能配置やトラフィック制御に関しては、世界的に見てもほとんど研究が行われていない。

## 2. 研究の目的

そこで本研究においては、NFV というアイデアをコンセプト実装や効率の悪い運用にとどめることなく、実ネットワーク環境において実用に耐えうるものとして確立するために、上述したような機能の配置とネットワークフローの経路決定手法を提案し、その有効性を検証する。

右図に本研究が対象とする NFV に基づくシステム(以降では NFV システムと呼ぶ)を示す。ネットワークには複数のサーバファームが存在し、各サーバには単一あるいは複数の機能が導入され、フローに対して提供される。サービスチェーン要求を持つネットワークフローは、要求に応じて配置された機能を順に適用し、ネットワークを離脱する。

機能の配置問題は、ネットワークフローのサービスチェーン要求に応じて、どのサーバでどの機能を提供するか、また、複数の機能をどのような優先度で実行するか、を決定することに相当する。一方、ネットワークフローの経路決定問題は、サービスチェーン要求を持つネットワークフローに適用する各機能を、どのサーバで実行されているものを用いるかを決定することに相当する。これらの問題を解くための手法を確立することが本研究の大きな目的である。

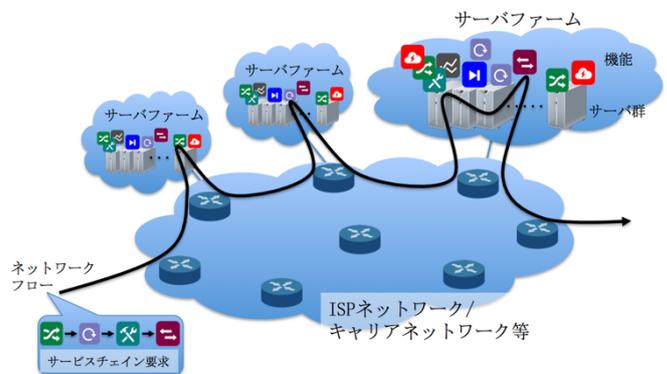


NFV の概念図 (ESTI 資料より抜粋)

このようなサービスチェーン要求を持つフローがネットワーク内に多数存在する場合に、サーバへの各機能をどう配置し、各ネットワークフローに機能を適用するための経路どう決定するか、を明らかにすることは、NFV に基づくシステムの効率的な運用やネットワークフローの性能向上のために非常に重要である。この問題はデータセンタにおける仮想ネットワーク配置問題である VNE (virtual network embedding) 問題と類似している点もあるが、複数の機能をサーバ上で共存させることや、複数のフローがあるサーバ上の機能を共有することによって資源の効率的な利用が求められる点が大きく異なるため、VNE 問題で用いられている手法を適用することができない。また、どちらの問題も NP 困難であることが知られているため、何らかの発見的手法が求められる。しかし、NFV はコンセプトの発表や実現性をアピールするための実験的な実装が進んでいるのみであり、実際の利用を考慮した機能配置やトラフィック制御に関しては、世界的に見てもほとんど研究が行われていない。

このようなサービスチェーン要求を持つフローがネットワーク内に多数存在する場合に、サーバへの各機能をどう配置し、各ネットワークフローに機能を適用するための経路どう決定するか、を明らかにすることは、NFV に基づくシステムの効率的な運用やネットワークフローの性能向上のために非常に重要である。この問題はデータセンタにおける仮想ネットワーク配置問題である VNE (virtual network embedding) 問題と類似している点もあるが、複数の機能をサーバ上で共存させることや、複数のフローがあるサーバ上の機能を共有することによって資源の効率的な利用が求められる点が大きく異なるため、VNE 問題で用いられている手法を適用することができない。また、どちらの問題も NP 困難であることが知られているため、何らかの発見的手法が求められる。しかし、NFV はコンセプトの発表や実現性をアピールするための実験的な実装が進んでいるのみであり、実際の利用を考慮した機能配置やトラフィック制御に関しては、世界的に見てもほとんど研究が行われていない。

このようにサービスチェーン要求を持つフローがネットワーク内に多数存在する場合に、サーバへの各機能をどう配置し、各ネットワークフローに機能を適用するための経路どう決定するか、を明らかにすることは、NFV に基づくシステムの効率的な運用やネットワークフローの性能向上のために非常に重要である。この問題はデータセンタにおける仮想ネットワーク配置問題である VNE (virtual network embedding) 問題と類似している点もあるが、複数の機能をサーバ上で共存させることや、複数のフローがあるサーバ上の機能を共有することによって資源の効率的な利用が求められる点が大きく異なるため、VNE 問題で用いられている手法を適用することができない。また、どちらの問題も NP 困難であることが知られているため、何らかの発見的手法が求められる。しかし、NFV はコンセプトの発表や実現性をアピールするための実験的な実装が進んでいるのみであり、実際の利用を考慮した機能配置やトラフィック制御に関しては、世界的に見てもほとんど研究が行われていない。



NFV システム概念図

### 3. 研究の方法

NFV システムが多様な環境で動作し、システムの成長に耐えうるようにするためには、本研究で実現する手法は自律分散的なアプローチに基づくことが有効であると考えられる。そこで、本研究ではまず最初に、NFV システム内の各サーバが提供すべき機能を自律分散的に決定するためのモデルとして、化学反応の様子をモデル化した化学反応式モデルを応用した、NFV サービスモデルを提案する。一般的に化学反応速度は反応の対象となる物質の濃度によって決定されるため、サーバにおける機能及び機能に対するリクエストを物質として表現し、サービスが行われることを、それら 2 種の物質が反応することで表現する。これにより、機能に対する需要に応じたサービスの配置が可能になると考えられる。また、化学反応における物質の拡散モデルを、需要の増大に伴う機能の他サーバへのコピー生成に適用する。このようなモデル確立には基となる化学反応式モデルの大幅な拡張が必要となる。

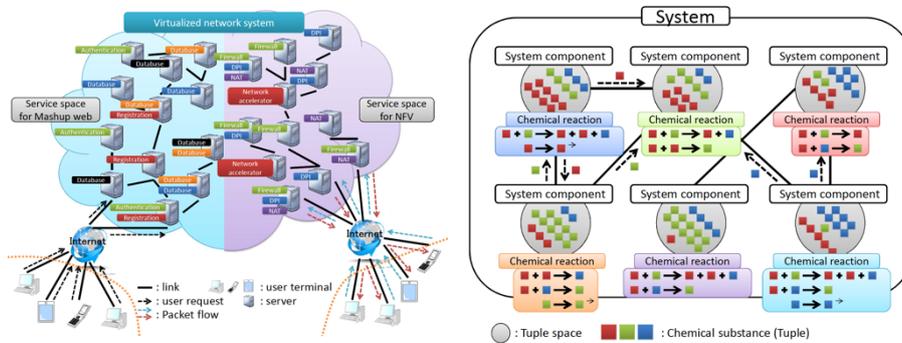
次に、提案したモデルに基づく機能の配置とネットワークフローの経路決定を行うための、具体的なサーバにおける機能提供方式、及びフローの経路制御プロトコルを提案する。具体的には、提案したモデルで導出される、各サーバにおいて提供される機能群の実行優先度をどのように実現するのか、及び、ネットワークにおけるフローの経路を決定するための通信プロトコルを検討する。

最後に、提案した方式の有効性を検証するために、実環境を用いた性能評価実験を行う。実験に際しては、研究申請者の属する組織のクラウド環境や、複数の商用クラウド環境、xaaS 環境などを用いることで、広域かつ大規模な実験を行うことで、提案方式の実ネットワーク環境における適用可能性を明らかにする。

### 4. 研究成果

化学反応式を利用した空間拡散モデルに基づいて、上記のようなネットワークサービスにおいて、提供するサービスや機能を適切な場所で実行し、サーバ資源をそれらで効率よく共有する手法を提案する。提案手法では、サービスや機能を実行するサーバを個々のタプル空間とみなし、ユーザからのリクエスト量やサービスの需要量等を化学物質として考え、サーバ内の局所的な状況を化学物質の濃度変化や拡散によって表現する。

そして、その空間で、各サービスに対するリクエストをサーバ資源を用いて処理する反応式を定義し、それを実行することにより、サービスの需要に応じたサーバ資源の共有をシステム内の各デバイスの自律的な動作によって実現する。シミュレーション評価により、提案システムが仮想化ネットワークシステムに求められる様々な機能を実現できることを確認した。



また、提案システムをNetwork Function Virtualization (NFV)を実現するために適用することを考え、NFVにおけるサービチェイニング、Virtualized Network Function (VNF)のサーバへの配置、フロー経路の決定などを行うための化学反応式を構築し、その有効性を確認した。また、簡易なNFV環境を用いた実装実験により、提案システムが仮想化ネットワークシステムに求められる様々な機能を実現できることを確認した。



- ICIN 2016, March 2016.
2. Ryota Kurokawa, Go Hasegawa, and Masayuki Murata, ''Biochemical-inspired Autonomous Control of Virtualized Network Functions,'' in Proceedings of IEEE ICIN 2019, January 2019.
  3. 長谷川剛, 村田正幸, ''化学反応式モデルに基づく仮想サービス配置手法の安定性評価,'' 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 209, NS2015-75, pp. 23-28, 2015年9月.
  4. 坂田航樹, 長谷川剛, 村田正幸, ''生化学反応モデルに着想を得た仮想ネットワーク機能の配置手法,'' 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 507, ICM2015-46, pp. 25-30, 2016年3月.
  5. 黒川稜太, 長谷川剛, 村田正幸, ''生化学反応モデルに着想を得た VNF 制御手法に関する一検討,'' 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 169, IN2018-17, pp. 27-32, 2018年8月.
  6. 黒川稜太, 長谷川剛, 村田正幸, ''生化学反応に着想を得た動的かつ自律分散的な VNF 配置手法,'' 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 465, NS2018-241, pp. 283-288, 2019年3月.

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名： 長谷川剛

ローマ字氏名： Go Hasegawa

所属研究機関名： 大阪大学

部局名： サイバーメディアセンター

職名： 准教授

研究者番号 (8 桁)： 00294009