

令和元年5月7日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00139

研究課題名(和文) 超分散仮想ネットワークデバイス構成技術の研究

研究課題名(英文) The highly distributed network device technologies

研究代表者

岡本 聡 (OKAMOTO, SATORU)

慶應義塾大学・理工学研究科(矢上)・特任教授

研究者番号：10449027

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：情報通信基盤の堅牢化においては、仮想ネットワークを提供するための“機能”を提供する仮想マシン(VM)を自由に移動させるVMマイグレーションが必要となるが、ネットワーク機能提供のためには多数のインタフェースをVMに具備させることが要求されるため、現在の技術では多数のインタフェースの接続関係を保持したままサービス断無くマイグレーションを実行することは困難であった。本研究では、分散仮想ネットワークデバイスであるAtomic NFV (Network Functions Virtualization)を適用し、Atomic NFVを利用することでサービス断を200 ms以下に抑えることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ネットワーク仮想化の技術は、情報通信インフラストラクチャーの堅牢化や、多様なサービス提供に欠かせないものとなっています。本研究では、Atomic NFV(超分散ネットワーク機能仮想化)というこれまで提唱されていたNFVが提供していた“機能”の単位を細粒度化することで、機能を提供するマシンを移動させた際の通信断の最小化を目指しました。その結果として、Atomic NFVを適用することでサービス断の時間を200 ms未満に抑制することが可能となる見出しを得ることができました。

研究成果の概要(英文)：In order to make the information and communication technology (ICT) infrastructure robust, the Virtual Machine (VM) migration technology is a very important technology. A VM provides "function" for providing a network virtualization environment and the VM can be moved freely in the network infrastructure for providing flexibility into the ICT. Since it is required to equip many interfaces to the VM for the network virtualization, it is difficult for the current technology to execute migration without service interruption while maintaining the connection relationship of a large number of interfaces. In this research, we applied Atomic NFV (Network Functions Virtualization), which provides a distributed virtual network device, and succeeded in suppressing service interruption to 200 ms or less by using Atomic NFV.

研究分野：情報通信工学

キーワード：ネットワーク機能仮想化 ネットワーキング 機能分割 モジュラールータ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 計算機に対する仮想化技術の進展により、ホスト計算機上で動作させる仮想マシン(Virtual Machine: VM)の利用が一般的となり、アプリケーションのサービス断が発生しないように VM をホスト間で移動させるライブマイグレーションの技術も一般的となっている。

(2) VM への通信をサポートするネットワークへの仮想化要求が高まり、ネットワーク仮想化技術が現在盛んに研究され、VM とネットワーク仮想化の連携技術の開発が推進されている。この流れの中で、ソフトウェアライブラリから必要な“機能”のソフトウェアを VM にダウンロードして機器を構成し、エンド-エンドの端末間で要求されるネットワーク内の処理を提供する Network Functions Virtualization (NFV)/Service Function Chaining (SFC)が提唱された。

### 2. 研究の目的

(1) ICT (Information and Communication Technology)基盤の堅牢化においては、機能提供される VM を自由に移動させ、SFC での接続関係を保持する VM マイグレーションが必要となる。通常のサーバアプリケーションの VM ライブマイグレーションでは、当該 VM がネットワーク的には終端点となるため通信断を最小化することが実現できている。しかしながら、NFV/SFC では、VM がネットワーク的に中継点となり、多数のインタフェースの接続関係を保持したままマイグレーションを実行する必要があるため、単純なライブマイグレーションでは通信断の最小化を実現できない。

(2) この問題を解決するために、“機能”を複数の VM の集合で実現する分散型仮想ネットワークである Atomic NFV を適用し、Atomic NFV における通信断を最小化するマイグレーション手法を確立する。

### 3. 研究の方法

(1) ソフトウェアスイッチである Click Modular Router を利用した Atomic NFV 環境を構築し、分散型仮想ネットワークでのライブマイグレーション性能評価を実施する。

(2) 性能評価に基づいて、通信断最小化を実現するためのアーキテクチャの見直しを行い、マイグレーション実現手法の検討及び評価を実施する。

### 4. 研究成果

(1) Click Modular Router の拡張を実施した。現状の Click Modular Router は、単一のマシン上で稼働するものであるが、Click のモジュール間通信に UNIX Socket を適用するように拡張を行い、複数マシンに跨ってモジュール群を動作させることに成功した。

(2) 拡張 Click Modular Router を利用して、IP ルータ機能を複数マシン上に分散させて実現する ATOMIC NFV を適用した Atomic IP Router を評価対象として構築し、複数 VM を利用してサブ機能群をどの VM で稼働させるかの VM 割当状態を変化させ、ルータスループットを定量的に評価した。評価結果として、単一 VM での実行に比べて VM 数を 2 台～5 台に変化させてもスループット劣化が台数無依存で 27%であることが確認された(図 1)。ボトルネックとなるサブ機能を分析し、該当サブ機能に対する割当 CPU 数を増加させることでボトルネックは解消され、分割による性能劣化を 5%にまで抑制することに成功した。

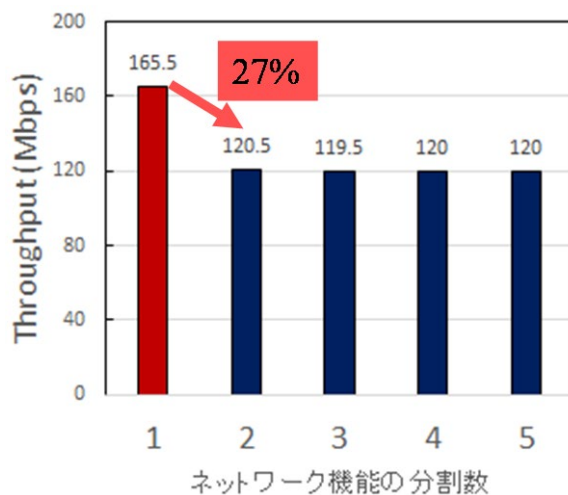


図 1. スループット測定結果

(3) 拡張 Click Modular Router を利用するための記述用ルールを開発し、単一の Click ファイルから、マシン毎に稼働すべき Click ファイルを自由な位置を切り口として生成させることに成功した。本ツールを用いて、光アクセスシステム用の OLT/ONU を Click で設計し、動的な機能マイグレーションを実現するための評価環境を構築した。

(4) アーキテクチャの見直しを行い、フロー情報分離型の機能マイグレーション手法 (図 2) を検討した。拡張 Click Modular Router を利用して簡易実装を行い、動作検証を行った。Atomic IP Router に NAT (Network Address Translation) 及びフローモニタリング機能を実装し、フロー数 1,000~10,000 の条件下でのサービスダウンタイムを 200 ms 未満まで削減できることの確認(図 3)を行った。

(5) Atomic NFV の有効性に関しては、電子情報通信学会英文論文誌のチュートリアル論文”Network Function Virtualization: A Survey”に記載を行った。本論文は、電子情報通信学会通信ソサイエティ論文賞 (Best Tutorial Paper Award) を受賞しており、学術的な高い評価を受けている。

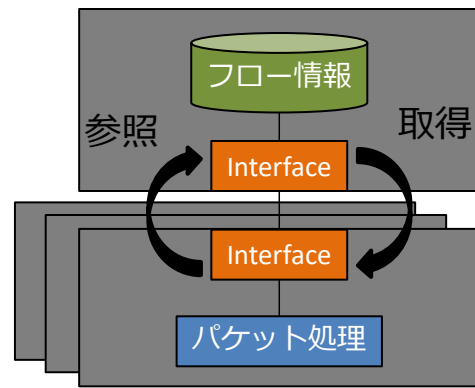
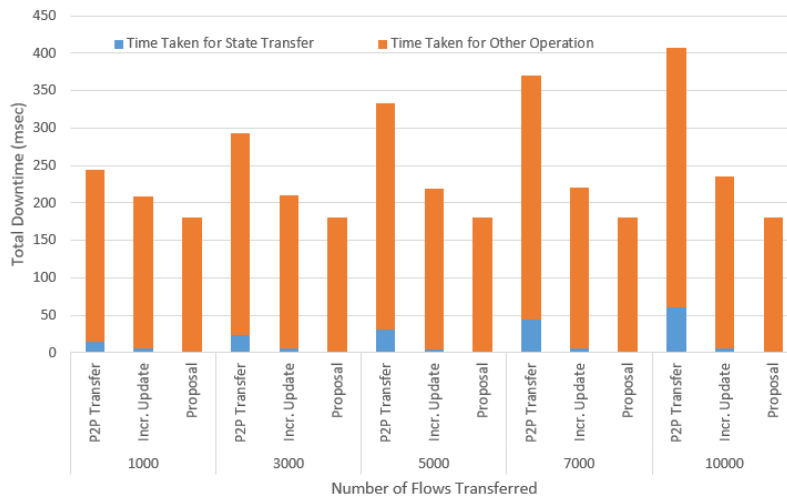
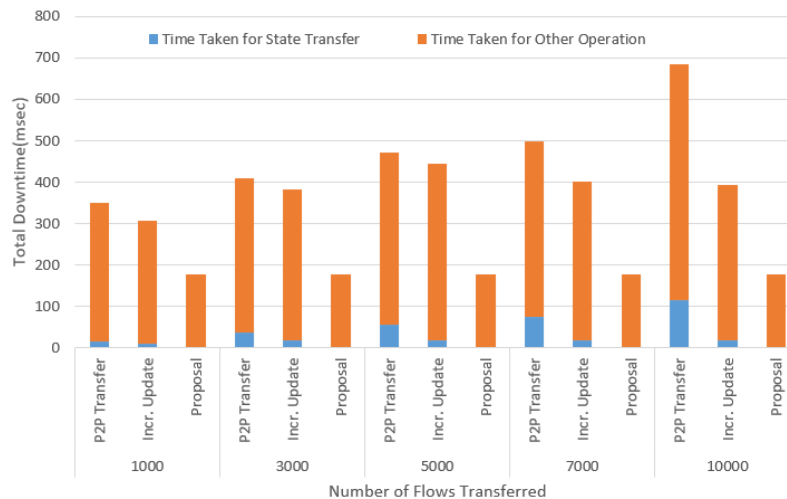


図 2. フロー情報分離型アーキテクチャ



(a)



(b)

図 3. マイグレーションフロー数とサービスダウンタイム、(a) NAT、(b)フローモニタリング

(6) 研究開始時においては、Atomic NFV を利用した“機能”を逐次マイグレーションしていく「アメーバ型マイグレーション」での実現を想定していたが、ネットワーク型の VM においては、フロー情報の管理が細分化できないことが判明した。そのため、全体をアメーバ型マイグレーションで実行することは不適當であると判断し、アーキテクチャをフロー情報分離型機能マイグレーションに変更した。フロー情報を分離した結果、サービス断を減少させることができた。残った部分にアメーバ型マイグレーションを適用することで更なるサービス断の減少が期待できるが、今後の研究課題であると位置づける。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 張 善明、佐藤 丈博、岡本 聡、山中 直明、Dynamic Energy Efficient Virtual Link Resource Reallocation Approach for Network Virtualization Environment、IEICE Transactions on Communications、査読有、Vol. E101-B、No.7、2018、pp. 1675-1684  
DOI: 10.1587/transcom.2017EBP3260
- ② Malathi VEERARAGHAVAN、佐藤 丈博、Molly BUCHANAN、Reza RAHIMI、岡本 聡、山中 直明、Network Function Virtualization: A Survey、IEICE Transactions on Communications、査読有、Vol. E100-B、NO.11、2017、pp.1978-1991  
DOI: 10.1587/transcom.2016NNI0001

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：山中 直明

ローマ字氏名：(YAMANAKA, naoaki)

所属研究機関名：慶應義塾大学

部局名：理工学部 (矢上)

職名：教授

研究者番号 (8桁)：80383983

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。