

令和2年度研究開発成果概要書

採択番号 : 19304  
研究開発課題名 : スマートコミュニティを支える高信頼ネットワーク構成技術の研究開発  
副題 : 高信頼設計エッジ・クラウド・ネットワーク

(1) 研究開発の目的

多数・多様な IoT 端末を収容する無線アクセスと分散配置エッジノードとの連携技術、分散配置エッジノードおよび中央クラウドでの計算やネットワークの仮想化・高信頼化技術、IoT 端末を考慮した分散型セキュリティ基盤技術、さらにエッジノード上に構築される高効率・高信頼な分散データベース技術を開発し、これらの技術が連携協調動作する Resilient Edge Cloud Network (RECN) の基盤技術を確立する。また、日米大規模テストベッドを用いた実証実験を行い、安全・安心のためのスマートシティ（人物認識）及び分散電カグリッドの管理応用などの特定のユースケースに対する有用性を示す。

(2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 3 年度（36 か月）

(3) 実施機関

国立大学法人九州工業大学

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 45 百万円（令和 2 年度 15 百万円）  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

Task1 : Resilient Resource Access for Massive End Devices

1. Spatio-temporal Floating EC function over vehicular nodes  
(メイン：国立大学法人九州工業大学、サブ：CCNY)
2. Resilient communication via flow based control  
(メイン：国立大学法人九州工業大学、サブ：CCNY)

Task2 : Virtualized Adaptable Computing and Networking

- (メイン：国立大学法人九州工業大学、サブ：CCNY)
1. Fast multi-path data exchange among EC nodes and BC
  2. Distributed monitoring and control for resiliency of backbone networking
  3. Elastic split-memory VMs in EC nodes and BC
  4. Distributed introspection and control for resiliency of split-memory VMs

Task3 : Bio-Inspired Intrusion Detection System (BIIDS) for Protecting Internet of Things Devices

(メイン：CCNY、サブ：国立大学法人九州工業大学)

Task4 : Distributed Database using Hypercube

(メイン：CCNY、サブ：国立大学法人九州工業大学)

Testbed Experiments

(合同：国立大学法人九州工業大学、CCNY)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	9	6
	その他研究発表	86	36
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	1	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	12	3

(7) 具体的な実施内容と成果

● Task1 : Resilient Resource Access for Massive End Devices

1. Spatio-temporal Floating EC function over vehicular nodes

Floating EC 機能を実現する時空間データ滞留方式において、データ拡散時間の制約及びデータの滞留期限を想定したデータ送信制御方式を提案し、シミュレーションを用いて有効性を示した。さらに、より効果的な時空間データ滞留を実現するために、車両の存在の有無を広報するためのビーコンを用いることなく、車両が完全な自律分散制御によりデータ滞留を実現する新しい送信制御方式を提案し、現実の都市（ルクセンブルク市）における車両の移動モデルを用いたシミュレーション評価を行うことでその有効性を明らかにした。また、現実環境を想定した上で時空間データ滞留方式の大規模評価を実施するために、NICT が保有するマルチエージェントエミュレーションシミュレーション環境 Smithsonian を用いて実証評価を行った。これらの要素技術に関して、2 件の国際論文誌 (IEEE Trans. on Mobile Computing (受理済) と IEICE Trans. on Commu.)、1 件の小論文、1 件の国際会議発表を国際共著論文として発表し、7 件の国内発表を行った。

2. Resilient communication via flow based control

フローベースのレジリエントな通信制御を実現するために、動画ストリーミングアプリケーションを対象に、Openflow メッセージを用いてネットワーク内で QoE 値を推定する手法を提案している。具体的には、ネットワーク内の Openflow スイッチにおいてフロートラヒック計測時に発生する誤差の時間的・量的な発生特性を事前に調査した上で、その特性を用いて計測誤差を補正することで高精度に QoE 値を推定する手法を考案し、その有効性を実機実証実験によって明らかにした。さらに、この推定 QoE 値を用いたフロー毎の経路制御手法についても考案し、実証実験によってその有効性を明らかにした。しかし、フロー計測開始直後の不可避な計測誤差に起因して正しい経路が選択できない、という問題点（限界点）も明らかになったため、現在この問題を解決するために、Q 学習を用いた強化学習によるフロー毎の経路制御手法の考案を進めている。これらの要素技術に関して、2 件の国際論文誌 (IEEE Access と IEICE Trans. on Commu.招待論文) と 4 件の国際会議発表を CCNY 側との国際共著論文として発表した。更に、1 件の国際会議でのチュートリアル講演、1 件の国内発表を行った。

● Task2 : Virtualized Adaptable Computing and Networking

1. Fast multi-path data exchange among EC nodes and BC

大容量データの 1 対多同時高速転送のための複数経路マルチキャスト技術、マルチパス TCP 応用技術、マルチホップ TDMA 技術等を研究開発し、手法の有効性や実用化への課題の確認を進めた。特に、送信者符号化を用いた一対多ファイル転送の最適スケジューリング手法を完成させ、その試

作を OpenFlow テストベッド上で検証すると共に、パケットロスに対してスイッチが再送する手法をプログラム可能データプレーンのフレームワークである P4 を用いて試作し、エミュレータ上で検証した。また、多対多ファイル転送への拡張検討を開始した。これらの要素技術に関して、1 件の国際論文誌、3 件の国際会議と、1 件の国内発表を行った。

## 2. Distributed monitoring and control for resiliency of backbone networking

管理された SDN ネットワーク内の全リンクの品質（パケットロス率や遅延変動）を監視し品質劣化リンクを特定するためのネットワーク連携形アクティブ計測のフレームワークに関して、マルチキャスト計測経路、計測パケットの送出（数や間隔等）、品質劣化リンクを効率的に絞り込むための統計情報取得順序等を研究開発し、手法の有効性や実用化への課題の確認を進めた。特に、計測経路および計測パケット送信端末位置の設計に関して本質的な進展があり、また、必要となる拡張機能の OpenFlow 上への実装に関して必要な圧縮法を検討した。これらの要素技術に関して、1 件の論文誌と 2 件の国際会議発表を行った。

## 3. Elastic split-memory VMs in EC nodes and BC

分割メモリ VM を効率よく動作させるために開発した、ネットワーク転送量を減らす機構によって発生するオーバヘッドの削減を行った。具体的には、VM の未使用メモリの検出アルゴリズムを高速化し、分割メモリ VM を停止させることなく未使用メモリを検出可能な機構を実装した。また、分割メモリ VM の信頼性を向上させるために分割メモリ VM を複製する機構を、動作中の VM に対して整合性を保って適用できるようにした。複数の EC ノードにまたがる分割メモリ VM を複製した後で障害が発生した際には、複数の EC ノードでも 1 つの EC ノードでも動作させられるようにした。これらの要素技術に関して、5 件の国際会議発表、2 件の国内発表を行い、そのうち国内発表の 1 件が最優秀若手発表賞を受賞した。

## 4. Distributed introspection and control for resiliency of split-memory VMs

VM の外部から VM 内部の情報を透過的に取得する内省機構を用いて、VM 内の OS データを解析して障害を検知するシステムを開発した。具体的には、プロセスによる CPU の異常消費とメモリの大量消費を検知できるようにした。また、内省機構を応用して VM 内部の OS データを書き換えることにより、一部の障害から復旧することができるシステムも開発した。このシステムは障害の原因プロセスに疑似的にシグナルを送信することにより、プロセスの実行を一時停止したり、終了させたりすることができる。これらの要素技術に関して、2 件の国際会議発表、4 件の国内発表を行い、そのうち国内発表の 1 件が優秀若手発表賞を受賞した。

- Task3 : Bio-Inspired Intrusion Detection System (BIOIDS) for Protecting Internet of Things Devices

(九州工業大学にて実施したサブ Task)

CCNY 側で開発を進めている BIOIDS にこれまでに開発した内省機構を組み込み、VM 外部で取得した VM 内部の OS やネットワークなどの情報を用いて攻撃の検知を行えるようにした。そのために新たに必要となった情報を取得できるように内省機構を拡張した。また、IoT デバイスとして用いられる Raspberry Pi に内省機構を適用し、典型的な攻撃を検知できるようにした。これらの要素技術に関して CCNY 側と国際共著論文を執筆し、2 件の国際会議発表を行った。

- Task4 : Distributed Database using Hypercube

(九州工業大学にて実施したサブ Task)

オーバーレイネットワークを用いたクエリ処理の評価実験を行うための前準備として、エミュレ

ータ上で小規模なハイパーキューブ構造を持つトポロジーを構築した。具体的には、Mininet 上でノードを4つ用意し、各ノードに2ビットのラベルを割り当て、ハミング距離が1であるノード間がリンクで接続されているようなトポロジーを構築した。また、ハミング距離がkであるような2ノード間に対しては、k本の辺素な最短パスが構築できるという知見も得た。

- Testbed Experiments

日米横断実験のための統合テストベッド（図1）を構築・運用し、実証実験に向けた各種要素技術評価実験や実証実験の準備実験を行うと共に、最終的な実証評価のアプリケーションシナリオを検討した。その結果、(8-5)で述べるような実証実験計画を立案した。

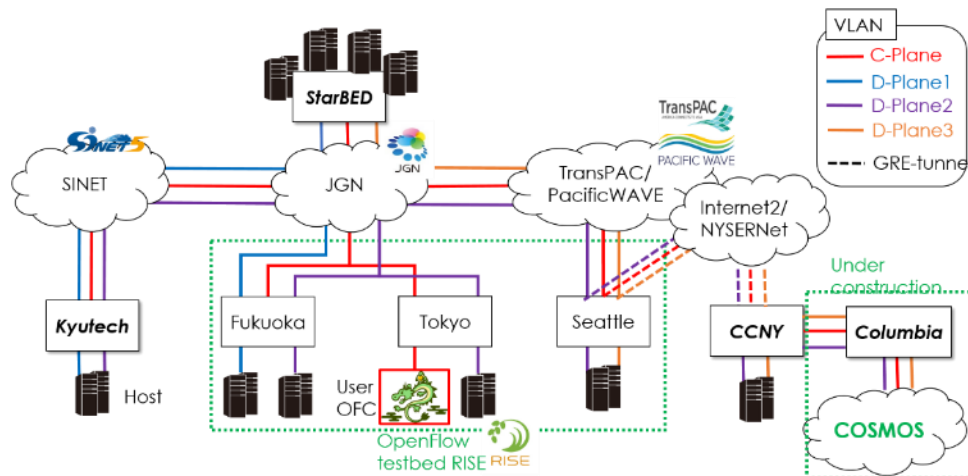


図1：日米横断実験のための統合テストベッド

(8) 今後の研究開発計画

1. Task1 Resilient Resource Access for Massive End Devices (4月~8月)

これまでに取り組んできたECノードと各エンドデバイス間のデータ転送を「耐障害性を高く」提供するために必要となる資源管理フレームワークに必要な各種要素機能（Floating EC機能、フロー別資源割り当て機能）を広域統合テストベッドを含む多様な環境で性能評価すると共に、Task2との連携機能に関する検討、及び評価を行う。また一部の機能を広域統合テストベッド等を活用した実証実験に組み込み、広域環境での実適用に関する課題を抽出する。

2. Task2 Virtualized Adaptable Computing and Networking (4月~8月)

これまで取り組んできた各ECノード間やBCとのデータ転送のためのネットワーク仮想基盤および各ECノード間やBC上での柔軟な情報処理のための計算仮想基盤に必要な要素機能を広域統合テストベッドを含む多様な環境で性能評価を行なうと共に、サブタスク間連携機能の性能評価も行う。また一部の機能を広域統合テストベッド等を活用した実証実験に組み込み、広域環境での実適用に関する課題を抽出する。

3. Task3: Bio-Inspired Intrusion Detection System (BIOIDS) for Protecting Internet of Things Devices (4月~8月)

- 九州工業大学にて実施するサブTask (4月~8月)

これまでCCNY側を中心として、ブロックチェーンを用いてBIOIDSのポリシーを安全に共有する仕組みを構築してきた。今年度はブロックチェーンを開発中のテストベッドに拡張して、より広範囲でBIOIDSのポリシーを共有する際の性能評価を行う。また、攻撃を検知するためにIoTデバイス用に開発した内省機構の性能評価も行う。

#### 4. Task4: Distributed Database using Hypercube (4月～8月)

- 九州工業大学にて実施するサブTask (4月～8月)

StarBED上の端末を用いてハイパーキューブ構造のトポロジー性能を評価する。具体的には、32もしくは64ノードから成る中規模のハイパーキューブ構造と様々なランダムグラフをMininet上で仮想的に構築し、エミュレーションによりデータ維持に必要なコスト等の性能評価を行う。また、可能であれば、分散Mininet技術により複数の端末を用いてより規模の大きいハイパーキューブ構造を構成する手法も検討する。

#### 5. Testbed Experiments (4月～8月)

これまで構築してきた九工大、CCNY、StarBEDをRISEなどで結んだ日米広域統合テストベッド等の上で、各要素機能ソフトウェアの試験・評価に必要な実験環境を整備すると共に、九工大—StarBED間、CCNY—StarBED間、そして3点を連携させた形で、いくつかのアプリケーションシナリオに沿ってタスク間およびサブタスク間連携を含む実証実験を行う。具体的にはエッジクラウドネットワークを活用したVMマイグレーションと経路切り替えを中心にして、以下のようなアプリケーションシナリオに基づく実証実験を行う計画を立てている。

- 出張やリモートワークのための仮想ビジネス環境のマイグレーション (CCNY、Starbed環境、九工大を接続)
- サイバー攻撃検知システムのためのブロックチェーンベースのセキュリティデータ分散共有 (CCNY、Starbed環境、九工大を接続)
- リモートデスクトップ環境でのキーロガー検知システムのためのKVMモニター (CCNYと九工大を接続)
- ECノード配下のアクセスネットワークでのストリーミング配信フローの品質維持のための割当制御 (九工大内)

#### (9) 外国の実施機関

City University of New York, City College (CCNY)