

令和3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）及び分散電力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<代表研究者>

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 45 百万円（令和 3 年度 7 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 (BIOIDS) 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	10	1
	その他研究発表	93	7
	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	13	1

(7) 具体的な実施内容と成果

● Task1 Resilient Resource Access for Massive End Devices

多種多様なエンドデバイスがエッジクラウド（Edge Cloud, EC）に柔軟かつ高信頼に無線及び有線ネットワークを介して接続する「Resilient Resource Access for Massive End Devices」の実現に必要な各要素機能を完成させ、多様な条件及び環境で性能評価を行った。また、その一部の機能に関して広域統合テストベッド等を活用した実証実験に組み込んだ。下記の活動を通して、得られた成果を国際会議2件（内、CCNYとの国際共著論文1件）、国内発表2件にまとめ、発表を行った。さらにR3年9月末までに、国際会議1件（CCNYとの国際共著論文）、国内発表4件を行う予定である。

1. Spatio-temporal Floating EC function over vehicular nodes

Floating EC を実現する時空間情報滞留方式を、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、及び無線通信エミュレータである NETorium を用いて、大規模評価を実施することでその有効性及び実現可能性について評価した。

2. Resilient communication via flow based control

EC ノードからエンドユーザ端末向けに配信される動画フローを対象として、高いQoE品質を高信頼・高性能で提供するための要素機能の詳細な性能評価を行うと共に、その一部に関して広域統合テストベッド環境を活用した実証実験に組み込んだ上で、有効性を評価した。

● Task2 Virtualized Adaptable Computing and Networking

各 EC ノード上の仮想マシン（VM）と BC が仮想的なネットワークで接続された柔軟で高信頼・高性能の情報処理基盤「Virtualized Adaptable Computing and Networking サブシステム」の実現に必要な各要素機能を完成させ、多様な条件で性能評価を行った。また広域統合テストベッド等を活用した実証実験に組み込んだ。具体的な取り組みは以下である。

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

各 EC ノード間や BC との高速で効率的な 1 対 1/1 対多データ転送のための要素機能の詳細な性能評価を行うと共に、その一部に関して広域統合テストベッド等での実証実験に用いた。これらの成果に関して、国際論文誌1件、国内発表1件の発表を行った。

2. Distributed monitoring and control for resiliency of backbone networking

各 EC ノード間や BC とのネットワークの信頼性向上のための実時間障害・品質劣化監視や分散制御のための要素機能の詳細な性能評価を行った。また、その一部に関して広域統合

テストベッド等での実証実験に利用した。

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

複数ノードにまたがる分割メモリVMのネットワーク転送を最適化することによる高速化の評価を行った。また、分割メモリVMの耐障害性を高めるための複製機構の性能評価を行った。得られた成果について、R3年9月末までに、国際共著論文2件を発表予定である。

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

VMの外からVM内部の情報を取得するための内省機構を用いてシステム障害の検知・復旧を行う機構についての性能評価を行い、従来の検知・復旧手法との比較を行った。得られた成果を国内発表2件にまとめ、発表を行った。さらにR3年9月末までに国際会議1件にて発表予定である。

- Task 3: Bio-Inspired Intrusion Detection System (BIOIDS) for Protecting Internet of Things Devices
 - 九州工業大学にて実施するサブTask
 - CCNY側で開発を進めているブロックチェーンを用いたBIOIDSのポリシー共有について、CCNYと連携してテストベッドを用いた実験を行った。得られた成果について、R3年9月末までに国際論文誌1件、国際会議1件（いずれもCCNYとの国際共著論文）にて、発表予定である。
- Task 4: Distributed Database using Hypercube
 - 九州工業大学にて実施するサブTask
 - StarBED上での実験の前準備として、16ノードから成るハイパーキューブトポロジをMininet上に仮想的に構築し、クエリ処理のエミュレーション評価を行った。得られた成果について、R3年9月末までに国際会議2件（いずれもCCNYとの国際共著論文）にて、発表予定である。
- Testbed Experiments
 - 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、各要素機能の個別および連携に関する検証を進めると共に、いくつかのアプリケーションシナリオに沿って、複数のタスクまたはサブタスクを連携させた実証実験を行った。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

● 計画

本NSF/NICT日米共同研究公募JUNO2「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」において、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を構築してきた。また、今後を見据えて、Columbia大学、Rutgers大学、CCNY、Arizona State大学が中心となって、世界規模のテストベッド環境の構築を目指すNSFプロジェクト「COSMIC (COSMOS InterContinent) Testbed Project」の一部として、これまでに本プロジェクトでの活動を通じて既に構築してきた日米（九工大-NICT StarBED-CCNY）回線を接続する事を提案し、採択されている（研究期間：2020年10月～2023年）。このCOSMICプロジェクトの全体図を図1に示す。そこで今後は、このCOSMICテストベッド環境を活用して、JUNO2 RECENプロジェクトで考案した各種要素技術の有効性を検証し、その成果を学術論文誌や国際会議において報告することで広報する事を予定している。

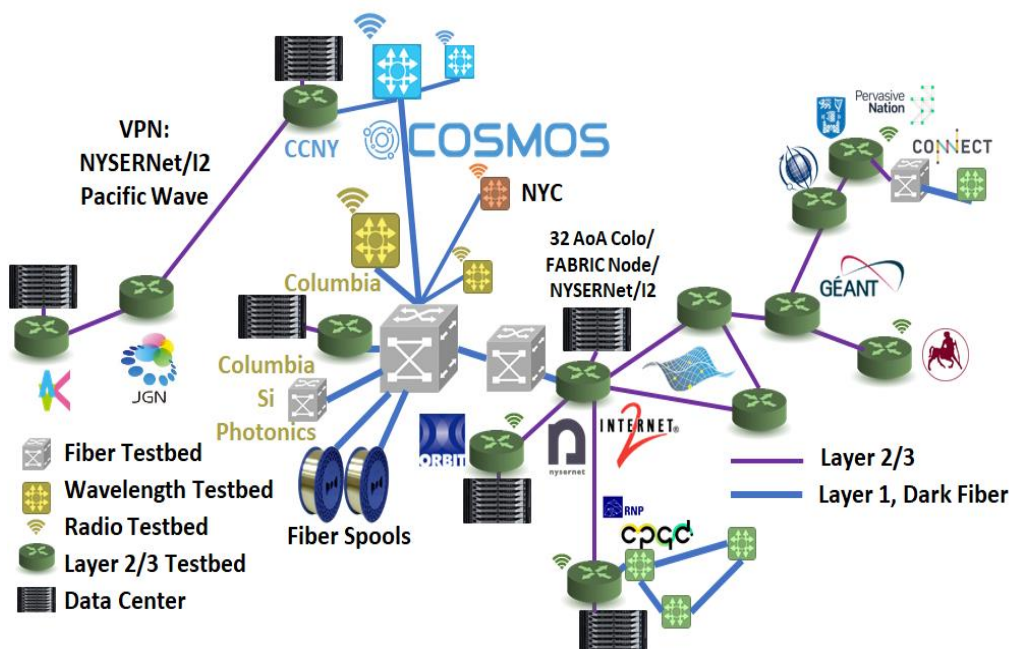


図 1：COSMIC プロジェクトの全体接続構想図

Task1 で取り組んだ Floating EC を実現する情報滞留手法に関しては、研究期間中において「データ」の滞留に取り組み、その有効性をシミュレーション実験、及びNICTのStarBEDを用いたエミュレーション×シミュレーション連携基盤に活用して確認した。しかし、本研究で視野に入れていた「機能」の滞留には取り組むことができなかった。そこで今後は、様々な「機能」を空間に滞留させるために必要となる手法について継続して研究開発を進める。例えば、カバレッジが制限される5Gの「MEC機能」を空間に滞留させる事によって可能となるユースケースについて検討した上で、学内に既に構築が完了しているローカル5Gネットワーク環境を有効活用して、その実用性について継続して研究を推進していく。また、エッジルータ/スイッチなどのネットワーク内の各種装置の計算能力向上に伴って、ネットワーク内で把握可能な情報を元に、学習アルゴリズムを有効活用することで「エンドデバイスの種類」や「通信フローの種類」を推定する事が可能となると考えているため、この推定結果を基に適切なネットワーク制御を実現する手法について研究開発を進める。これらの成果については、本プロジェクトの成果と合わせて、今後Beyond 5Gや6Gにおける「拡張性」の一つの機能として提案していく事を予定している。

次にTask2において提案したVirtualized Adaptable Computing and Networkingについては、手法の基本的な有効性については明らかにすることが出来たものの、様々な実用環境に対応するためには現在の標準的な枠組みだけでは柔軟性が不足することも判った。そこで、今後は更に大規模かつ多様なエッジ間連携や無線区間も含めた高信頼なネットワーク・コンピューティング・スライスを実現するために、柔軟で拡張性のあるネットワーキング技術やコンピューティング技術について継続的に研究開発を進める。例えば、programmable networking技術に関しては既にP4技術を用いた一部の機能の拡張を試作した。これらはCOSMICテストベッドなどを用いた大規模分散環境で検証する事を視野に入れる。加えて、多様なユースケースに合わせて、より柔軟なVMマイグレーションの実現を目指す。

Task3において九工大とCCNYが共同で開発したBioDSについては、原理的にVM内の未知のキーロガーを検知することができるため汎用性が高い。また、ブロックチェーンを用いてBioDSのデータを日米間で安全に共有する事ができることも実証実験によって明らかにしている。なお、前者の成果については米国において特許の仮出願を行った。今後、この特許を活用すること

で、BioIDSが大手クラウドベンダの標準セキュリティサービスとなり、クラウドを利用する多くのユーザのセキュリティ向上に貢献する事を目指す。

最後にTask4で構築したDistributed Database using Hypercubeについては、これまではニューヨークの実データを用いて効率的にクエリ処理を行う集中制御による手法のシミュレーション・エミュレーション評価を行ってきたが、今後は分散的な手法でクエリ処理を実現するための手法を設計し、その手法を実環境上に適用・評価することを検討する。

今後はこれらの成果を、学内に構築したローカル5G環境を皮切りに、全国各地に展開されているローカル5G環境と連携することでエッジ間連携環境を構築し、有効性をいち早く一般向けに示すことで、早期の実用化に向けて地域との連携による実証実験の実施や導入実績を積み上げていく事を予定している。

● 展望

九州工業大学では未来思考キャンパス構想を推進しており、大学全体を新技術の実験場とすることによって、未来を先取りした体験を提供し続けることを目指している。その一環としてローカル5Gや柔軟な制御が可能なソフトウェア無線システム/ネットワーク機器(P4)に加え、アプリケーションとしての無人店舗の展開、などIoTサービス実現のための基盤としてエッジ・クラウド・ネットワークを利活用するための要素技術を既に有している。そこで今後は、本研究開発において得られた知見、特に無人店舗を活用した情報滞留手法に関する実証実験を拡張する形で、無線通信部分だけでなく、今後のBeyond 5G/6Gネットワークにおいても重要な要素となるエッジネットワークを含めた統合的なエッジ・クラウド・ネットワークのテストベッド環境を構築し、その環境を活用した研究開発の実施を検討していく。

更にエッジ間の連携を実証するためには本プロジェクトで実施したStarBEDだけでなく、複数の地域との連携体制を構築する必要がある。そこで、九州地域内での連携を実現するために、九州インターネットプロジェクト(QBP)や九州テレコム振興センターの会員である自治体や地域企業と連携した上で地域にエッジネットワークを構築した上で、連携実験を実施する予定である。研究開発においては、様々な異分野のサービスを提供している企業と幅広く連携することで、分野横断的に利用可能なDXサービス、例えばスマートシティなどに貢献可能な実用的な研究を実施できると考える。これらの活動を通じて、学术界だけではなく地域社会やそこに生活する住民に対する新たな利便性を積極的に提供していく事を目指す。また、産業界にとっては異分野の分野横断的なDXによって、これまでにない新たなサービスの創出が期待できる。このように多角的な視点で研究を推進することで、本プロジェクトで取り組んだエッジ・クラウド・ネットワーク技術の必要性、国民の生活に対する貢献を可視化することができ、技術の普及・発展に貢献できると期待している。

また、これらの研究成果を適宜、後継プロジェクトであるJUNO3を始め、Beyond 5Gや6Gなどの次世代情報ネットワーク基盤の一つの機能として取り込んで行く事を旨とし、積極的に研究プロジェクトに申請する事を予定している。特に新規性の高い手法については、産業界と連携してIETFやITUなどに標準化として提案する事を視野に入れる。更に、これらの研究開発プロジェクトを通じて得られた研究成果を国際論文誌や国際会議において継続的に对外発表することで、博士課程学生や若手研究者の育成にも積極的に取り組んでいく。

(9) 外国の実施機関

City University of New York, City College (CCNY)