

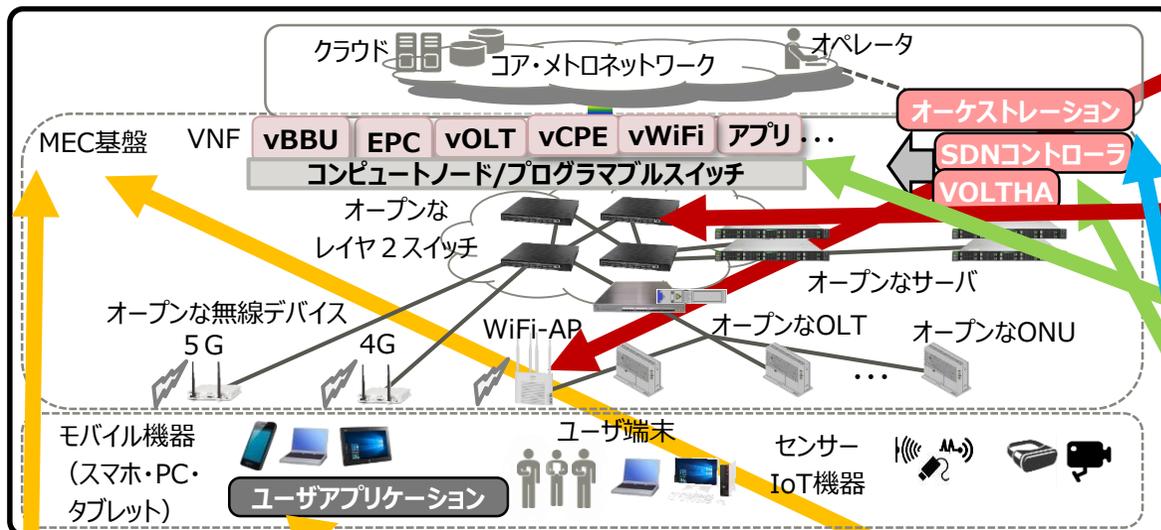
1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名：5G・Beyond 5Gの多様なサービスに対応する有線・無線アクセスネットワークのプラットフォーム技術の研究開発
- ◆副題：5G・Beyond 5Gの多様なサービスに対応する有線・無線アクセスネットワークの仮想化とエッジクラウド基盤技術の研究開発
- ◆実施機関：富士通株式会社、国立大学法人福井大学
- ◆研究開発期間：第一期：平成30年度から令和2年度（3年間）、第二期：令和3年度から令和4年度（2年間）
- ◆研究開発予算：第一期：総額150百万円（令和元年度50百万円）

2. 研究開発の目標

5G・Beyond 5G時代に向けて、多種多様なサービスを誰もがいつでもどこでも容易に利用できる社会を実現するために、サービス多様化に対応する有線・無線アクセスネットワークの仮想化技術とエッジクラウド基盤技術を確立する。

3. 研究開発の成果



研究開発項目1-1: マルチベンダ光、無線アクセス装置のオープン化技術開発(富士通)

オープンなアクセス機器とOSSを活用し、光アクセス、無線アクセス、Wi-Fiアクセスの各ネットワーク基盤を設計、構築した。

研究開発項目1-2: マルチベンダレイヤ2装置のオープン化技術開発(富士通)

オープンなレイヤ2スイッチ機器、およびプログラマブルスイッチ機器とOSSを活用し、Fabricネットワーク基盤を設計、構築した。

研究開発項目2-1: 光、無線アクセス機能のNFV化技術開発(富士通)

オープンコミュニティが提供するOSSを活用し、光/無線/Wi-Fiアクセスの各機能をNFV化するための設計、構築を行った。

研究開発項目2-2: オープンネットワークコントローラ、NFVコントローラ技術開発(富士通)

オープンコミュニティが提供するOSSを活用し、オープンネットワークコントローラとNFVコントローラを設計、構築した。

研究開発項目3-1: ネットワーク論理パス設定自動化技術開発(富士通)

光・無線ドメインごとに機器接続や起動をトリガとして各ドメインにおけるパスの簡易自動化制御を設計、構築した。

研究開発項目4-1: MEC技術開発(富士通)

ネットワーク機能の低遅延化を可能とする仮想ブリッジ機能の調査・検討を行った。また、最適資源配備アルゴリズム(研究開発項目4-3)のインプットとなる性能統計情報のうち、CPU使用率、メモリ使用率、ネットワーク伝搬遅延について収集、通知する機能の設計を行った。

研究開発項目4-2: MECアプリケーション設計及び実用性・有効性評価(福井大学)

エッジサーバを含む開発プラットフォームの利用状況に応じてMECサーバとクラウドを動的に使い分ける機能を導入し、実験評価によって本機能の有効性を示した。また、高校生を含む数十名の参加者に対して2回のデモ実験評価を実施し、アンケートによって効果を確認した。

研究開発項目4-3: アプリケーションと連動する一体最適資源利用技術(福井大学)

開発するプラットフォームで収集可能な情報を利用した一体最適資源利用技術を確立し、提案技術によって総処理遅延を最小化できることを示した。また、項目4-2で開発しているアプリケーションで使用するMECサーバとクラウドを動的に使い分ける最適資源利用アルゴリズムを開発した。確立したアルゴリズムの性能をシミュレーションで評価し、本義実の実用性を示した。

主な成果 - その1: 富士通

研究開発項目1: ネットワーク装置のオープン化技術

研究開発項目2: ネットワーク仮想化基盤技術

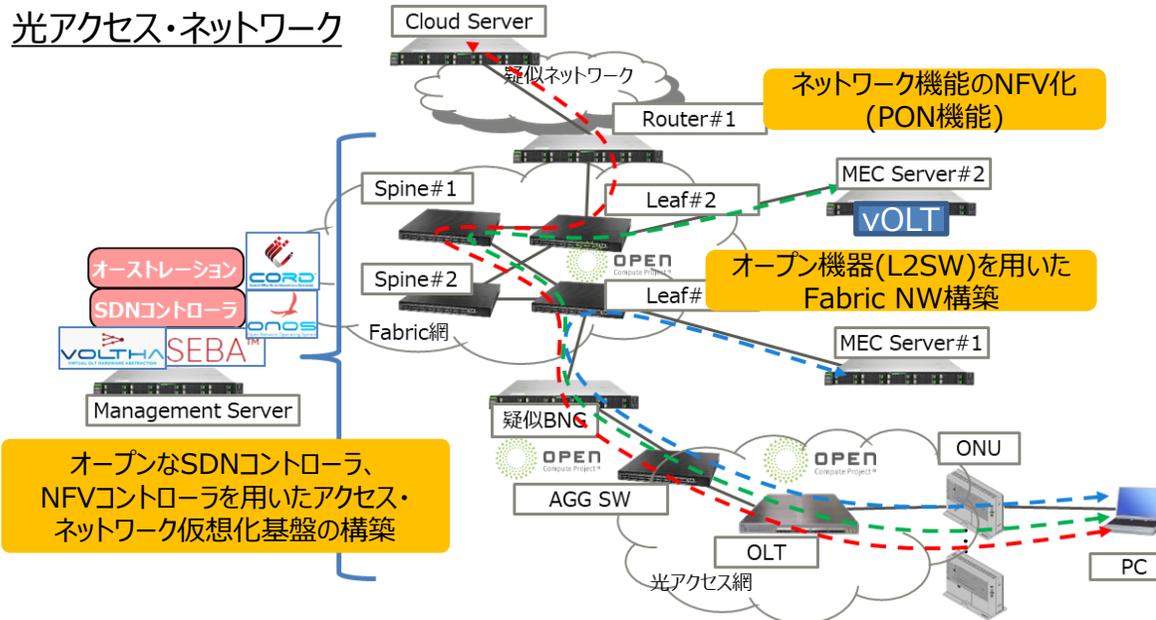
研究開発項目1-1: マルチベンダ光、無線アクセス装置のオープン化技術開発
 研究開発項目1-2: マルチベンダレイヤ2装置のオープン化技術開発

研究開発項目2-1: 光、無線アクセス機能のNFV技術開発
 研究開発項目2-2: オープンネットワークコントローラ、NFVコントローラ技術開発

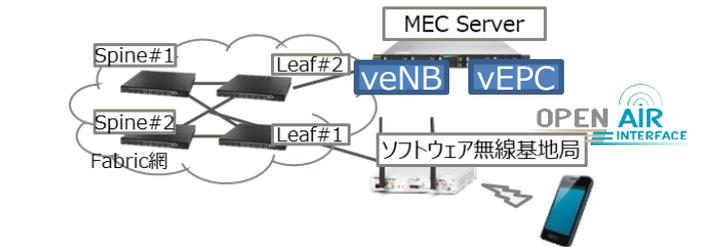
研究開発項目3: ゼロタッチ制御技術

研究開発項目3-1. ネットワーク論理パス設定自動化技術開発

光アクセス・ネットワーク



無線アクセス・ネットワーク(プライベートLTE)

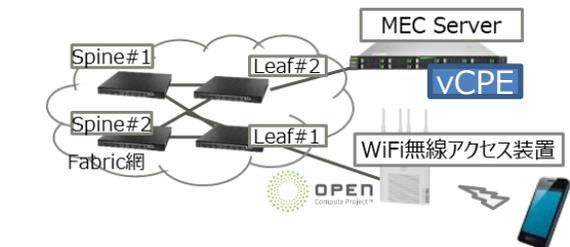


オープン機器(ソフトウェア無線基地局、WiFiアクセスポイント)を用いたプライベートLTE NW/WiFi-NW構築

ネットワーク機能のNFV化
(基地局/モバイルコア機能、CPE機能)

アクセスNW仮想化基盤上での管理・制御

無線アクセス・ネットワーク(WiFiアクセス)



オープン機器(OLT,ONU)を用いた XGS-PON NW構築



各ドメインにおける
簡易自動化制御の実現

光アクセスNW : ONU機器の接続によりPON区間のパスの自動生成
 無線アクセスNW(プライベートLTE) : ソフト無線基地局からコアノードまでの通信パス自動生成
 無線アクセスNW(WiFi) : WiFi-AP機器と仮想CPEとのパスの自動接続

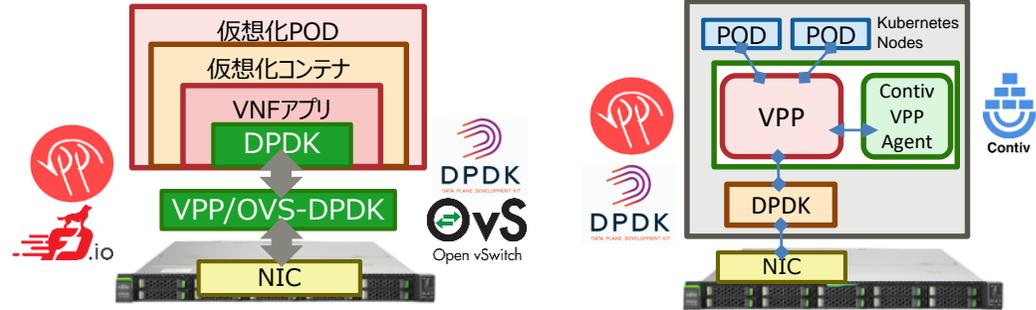
主な成果 - その1: 富士通

研究開発項目4: エッジクラウドとネットワークの一体最適制御技術

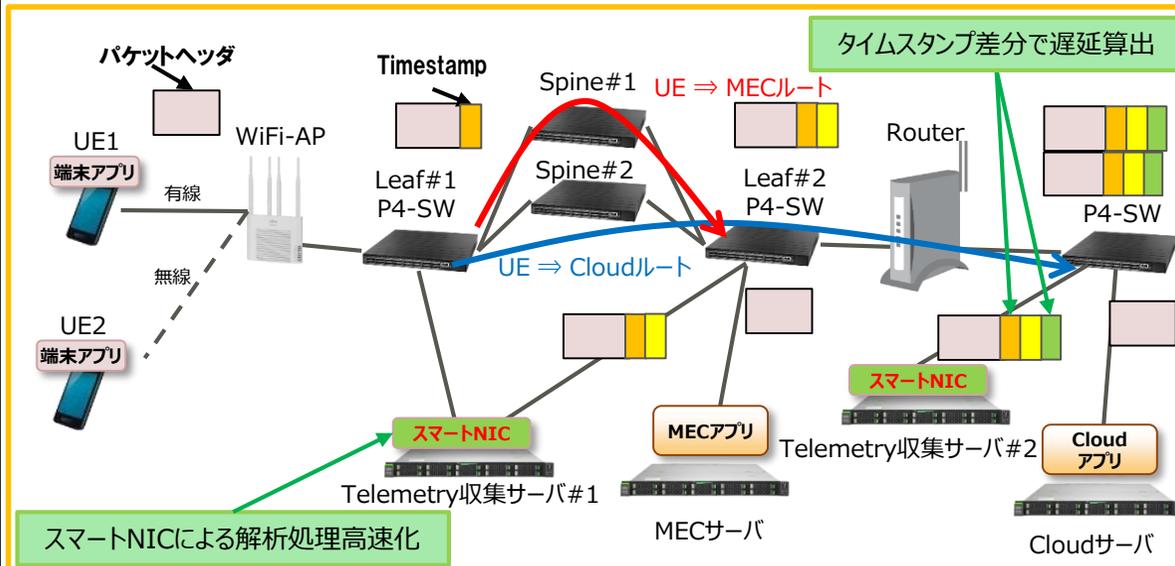
研究開発項目4-1: MEC技術開発

仮想化ブリッジ性能改善環境の構築

ネットワーク機能の低遅延化を可能とするOSSであるDPDKやVPPを動作させることで、構築した仮想化基盤上に配備された仮想化ブリッジの性能を改善する施策導入に向けた調査・検討を実施

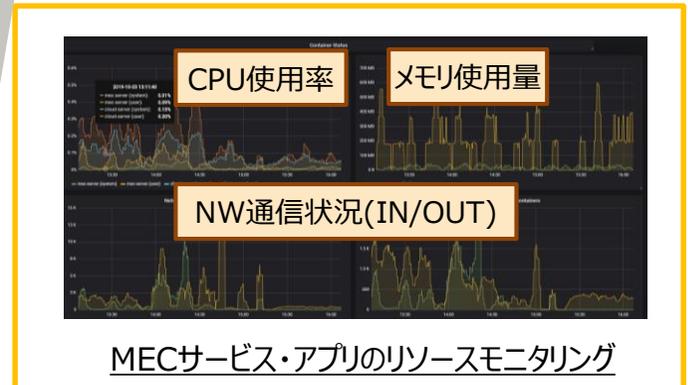
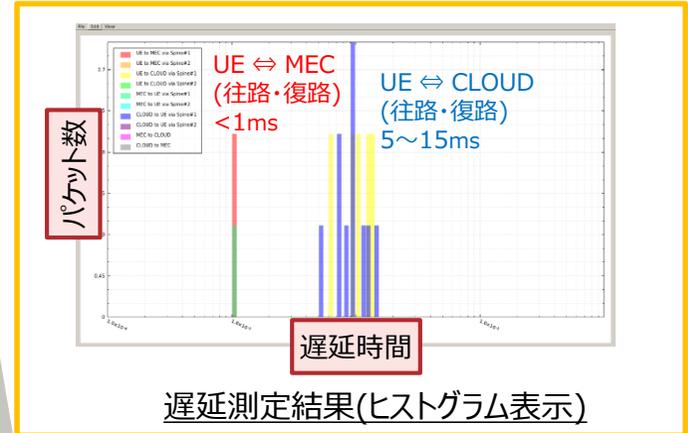


リアルタイム性能統計情報収集技術開発



MEC基盤構成

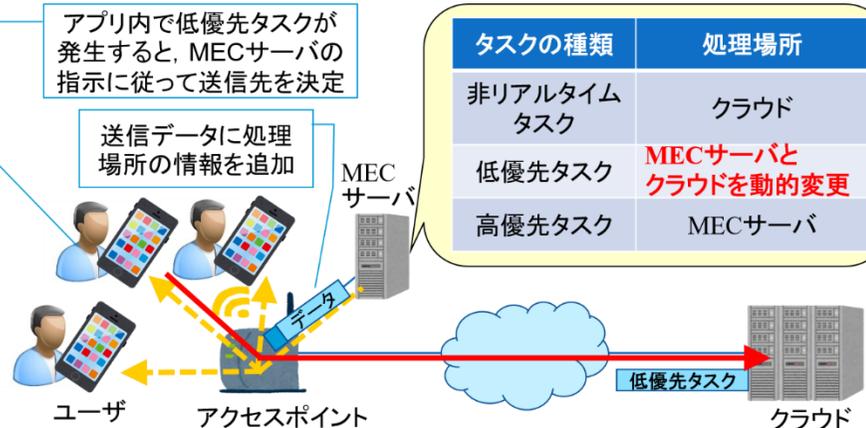
- P4技術を活用したタイムスタンプ付与によるミリ秒精度のP4-SW間伝搬遅延測定を実現
- MECサービス・アプリのリソースモニタリングに対応(CPU使用率/メモリ使用量など)
- 福井大学と合同の実証検証を実施



研究開発項目4: エッジクラウドとネットワークの一体最適制御技術

研究開発項目4-2: MECアプリケーション設計及び実用性・有効性評価

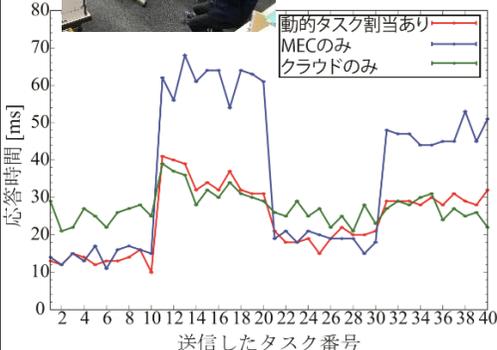
研究開発項目4-3: アプリケーションと連動する一体最適資源利用技術



動的タスク割当技術(一体型資源管理アルゴリズムと連動可能)



実験の様子



	開発技術あり	MECのみ	クラウドのみ
応答時間	24.175 ms	35.525 ms	27.45 ms

動的タスク割当技術の実験結果

	思う				思わない
	5	4	3	2	1
本アプリは楽しそうに見える	41	33	14	4	0
遅延による違和感がなかった	55	25	8	2	2
操作は簡単だった	80	11	1	0	0
処理や動作が軽く感じた	59	24	6	2	1
他のユーザと情報共有を体感できた	33	33	12	8	6
リアルタイムに通信を行っていたと感じた	49	32	6	4	1
割合	57.4%	28.6%	8.5%	3.6%	1.8%

デモ実験の結果 (10代~50代の92名分)

動的タスク割当技術に対する一体型資源管理アルゴリズム

・全タスクに対して、以下の2週の処理を実行する

1周目

[タスク場所決定(仮経路も決定)]

- Step1: タスク s^2 を処理時間が小さい順に並べ、次に s^1 を並べて $i=1$ としてStep2へ.
- Step2: i 番目のタスクに対して、MECサーバに割り当て時の総応答時間の増分とクラウドの応答時間を比較し、前者が短ければMECへ、後者が短ければクラウドへ割当
- Step3: 経路 r^1 を通るタスクの総処理時間が小さいまたは0の場合は経路 r^1 へ、そうでない場合は経路 r^2 へ割当.
- Step4: i がタスク数以下なら、 i を1増加してStep2へ戻る.

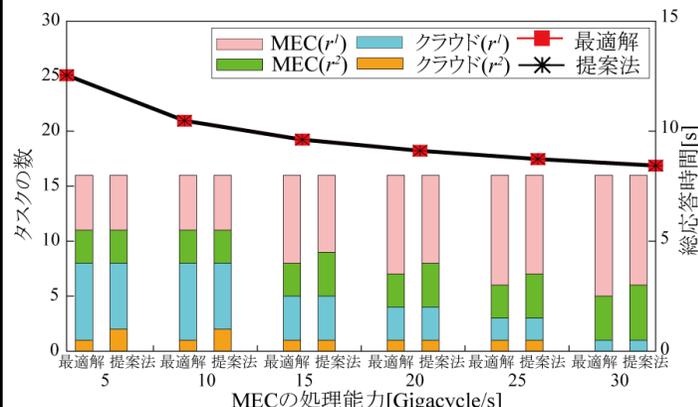
2周目

[経路決定]

- Step1: 全タスクを経路 r^1 と経路 r^2 の伝送時間の差が大きい順に並べて、 $i=1$ としてStep2
- Step2: 制約条件を満たす場合は経路 r^1 へ、そうでない場合は経路 r^2 へ割当
- Step3: i がタスク数以下なら、 i を1増加して全タスクを割り当てるまでStep6へ. さもなければ終了.

上記アルゴリズムの基となる最適化問題

$$\min_{\delta, \omega, \varphi} \underbrace{\sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^K \{A_i^j \delta_i^j + B_i^j \omega_i^j\}}_{\text{タスク} s^1 \text{の総応答時間}} + \underbrace{\sum_{i=1}^Y \sum_{j=1}^K \{A_i^j \varphi_i^j\}}_{\text{タスク} s^2 \text{の総応答時間}}$$



タスク割当数と総応答時間の比較

提案
アルゴリズム

0.14秒

最適化問題
(CPLEX)

37分51秒

実行時間
の比較

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
0 (0)	0 (0)	0 (0)	11 (9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- (1) オープンな機器とOSSを用いて、光アクセス、無線アクセス、Wi-Fiアクセスネットワーク基盤、およびNFV基盤をそれぞれ設計、構築した。また、その取り組みについて、Open Networking Conference Japan 2019 BoFにて発表し、他参加者と意見交換を行った。
- (2) 研究開発項目4-2にて福井大学が開発したMECアプリケーションを取り込み、CPU/メモリ使用率、Fabric網のネットワーク遅延時間を収集、通知可能なMEC基盤を構築し、福井大学と合同でMECアプリケーションの実行、各収集機能、通知機能の検証を実施した。【開発項目4-1】
- (3) 開発したARアプリと小規模実験環境で2回のデモ実験を行い、100名程度の一般の方にアンケートを実施し本アプリケーションの効果を示すことができた。また、MECサーバとクラウドを状況に応じて動的に使い分けるタスク割当機能を実装し、実験によってアプリの性能向上を示した。これらの成果は、電気・情報関係学会北陸支部連合大会や電子情報通信学会総合大会で口頭発表し、電気・情報関係学会北陸支部連合大会の発表に関しては、電子情報通信学会北陸支部から2019年度優秀論文発表賞を受賞した【開発項目4-2】。
- (4) 開発項目4-1を想定したシステムモデルに対して、前年度に開発した一体最適資源利用技術を改良し性能を向上した。本成果は、国際会議で発表を行った。また、開発項目4-2で利用する動的タスク割り当て機能のアルゴリズムを開発し、情報通信学会総合大会などで発表を行った【開発項目4-3】。

5. 今後の研究開発計画

- 研究開発項目1-1: マルチベンダ光、無線アクセス装置のオープン化技術開発(富士通株式会社)
- 研究開発項目1-2: マルチベンダレイヤ2装置のオープン化技術開発(富士通株式会社)
令和元年度に設計、構築した各ドメインのアクセスネットワーク基盤、およびFabricネットワーク基盤について性能評価を行い、第2期に向けた5G、Beyond5G時代の多様なサービスにおいて必要なネットワーク要件に対するギャップ、課題の抽出と性能改善を行う。
- 研究開発項目1-3: マルチベンダ次世代光、無線アクセス装置のオープン化技術開発(富士通株式会社)
40G対応のNG-PON2や5Gなど次世代の光、無線アクセス装置のオープン化技術に関する技術調査、市場調査を実施し、機器およびOSSの選定を行う。
- 研究開発項目2-1: 光、無線アクセス機能のNFV化技術開発(富士通株式会社)
- 研究開発項目2-2: オープンネットワークコントローラ、NFVコントローラ技術開発(富士通株式会社)
令和元年度に設計したドメイン(光アクセス、無線アクセス、WiFiアクセス)ごとにVNF化したアクセスネットワークの機能の検証、並びに、機器を制御するSDNコントローラ及びNFVコントローラを評価する。また、ドメイン間にまたがるオーケストレーションの設計・評価を行う。
- 研究開発項目2-3: スケーラビリティ対応による実用化開発(富士通株式会社)
令和2年度までに構築したアクセスネットワーク仮想化基盤において数十台程度のオープンネットワーク機器を接続した検証を行い、現状システムの性能を測定・分析する。
- 研究開発項目3-1: ネットワーク論理パス設定自動化技術開発(富士通株式会社)
令和元年度に設計した各アクセスドメインでの自動化トリガに対応したドメイン内での各動作レシピやそのシーケンサソフトの評価、および、ドメイン間の自動化を実現するクローズドループコントロールを設計する。
- 研究開発項目4-1: MEC技術開発(富士通株式会社)
MEC上に仮想化された超低遅延・多数接続のサービスを実現するため、仮想ブリッジなどオープンソフトウェアで実現するネットワーク機能の低遅延を実現する。また最適なシステム資源の配備をリアルタイムに変更可能な仕組みの構築を目的として、その判定に必要な効果的なパラメータをリアルタイムに収集・通知し、システム資源を最適化する技術を開発する。
- 研究開発項目4-2: MECアプリケーション設計及び実用性・有効性評価(国立大学法人福井大学)
MECサーバとクラウドサーバの利用を動的に切り替えるアルゴリズムを実装する。さらに、サーバの切り替え後も継続して動作が安定するように、MECサーバとクラウドサーバで保持データを同期させる機能、もしくは同期が不要な処理を新たに導入する。さらに、デモ実験で使用するMECサーバ及びクラウドサーバ用のサーバプログラムおよびアプリに対しても上記の機能を導入する。開発したアプリケーションとデモ実験環境を利用し、2回のデモ実験を実施する。
- 研究開発項目4-3: アプリケーションと連動する一体最適資源利用技術(国立大学法人福井大学)
令和2年度は、前年度に確立した最適化問題を利用した一体型最適資源利用技術を拡張し、実装および実運用が可能な制御アルゴリズムを開発する。制御アルゴリズムの効果は、CPLEXと遺伝的アルゴリズムによって導出する最適解との比較によって調査する。また、計算時間の効果に加えて、最適解との誤差も評価する。さらに、開発中のアプリに実装するサーバの切り替えアルゴリズムの改善も行う。本アルゴリズムも、定式化済みの最適解との誤差で性能を評価し、誤差がより小さくなるアルゴリズムへの改善を試みる。