

令和 3 年度研究開発成果概要書

採択番号 01201

研究開発課題名 Beyond 5G で実現する同期型 CPS コンピューティング基盤の研究開発

(1) 研究開発の目的

産業システムや社会インフラで用いる CPS では、センサやロボットのアクチュエータなどの OT デバイスに接続された通信ネットワークと、コンピューティング処理基盤によりシステムが構成される。高速の制御ループが必要な OT デバイスでは、通常その制御はデバイス内に閉じて行われる。今後、低遅延の Beyond 5G (B5G) を適用すれば、OT デバイスとネットワーク越しのコンピューティング処理基盤に処理を分散してリアルタイム処理を行うことが可能となる。その結果、単に OT デバイス内に必要な計算資源を減らすことができるだけでなく、多種多様な OT デバイスを CPS に収容し、コンピューティング処理基盤上のアプリケーションで OT デバイスを連携させることが容易に可能となるため、上記特徴は普及に際して重要な KSF (Key Success Factor) となる。本研究開発では、OT を対象とするリアルタイム処理が可能で、多彩なサービスを提供できるコンピューティング処理基盤を特長とする CPS (同期型 CPS と定義) の実現を目的とする。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度 (4 年間)

(3) 受託者

日本電気株式会社<代表研究者>
国立大学法人東京大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 4 年度までの総額 976 百万円 (令和 3 年度 459 百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 ネットワーク型 OT 制御コンピューティング処理基盤の研究開発 (日本電気株式会社)

研究開発項目 2 QoE 指向時空間ダイナミック無線リソース制御の研究開発

研究開発項目 2-a) 時空間ダイナミックスライシング技術の研究開発 (国立大学法人東京大学)

研究開発項目 2-b) 時空間ダイナミックフロー制御技術の研究開発 (日本電気株式会社)

研究開発項目 2-c) End to End QoE コントローラの研究開発 (日本電気株式会社)

研究開発項目 3 ゼロトラスト・スケーラブルアクセス制御の研究開発 (日本電気株式会社)

(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	4	4
	外国出願	1	1
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	10	10
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	6	6
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1：ネットワーク型 OT 制御コンピューティング処理基盤の研究開発

ネットワーク型 OT 制御コンピューティング処理基盤を構成する OT 制御共通基盤及びプランニングエンジンの要件検討及び実験を行った。OT 制御共通基盤の要件検討及び実験では、OT デバイスの制御 API を抽象化し、認識、判断、制御の機能モジュールを自由に組み合わせて柔軟な OT デバイスの制御を可能とするための機能要件の検討と、それに必要な机上評価及び実機評価を行った。その結果、全体クラウドとエッジ跨るコンピューティング基盤に必要な機能要件を抽出し、管理プレーン・データプレーン全体のアーキテクチャの策定と要件定義を完遂した。また、プランニングエンジンの要件検討及び実験では、人からの抽象的な命令で OT デバイス制御を実現するためのルールベース AI 手法の実現に必要な機能要件の検討と、それに必要な机上評価及び実機評価を行った。その結果、ロボットをルールベース AI で動作させるために必要な認識・計画・制御・表示等の機能要件を抽出し、全体アーキテクチャの策定及び要件定義を完遂した。

研究開発項目 2：QoE 指向時空間ダイナミック無線リソース制御の研究開発

研究開発項目 2-a)

FPGA (MPSoC+RFSOM) とアップ/ダウンコンバータを用いた信号テスト環境を構築すると共に、Beyond 5G に対応した高周波数帯のネットワーク構築を実現するためのフレキシブルな 5G センサとアンテナの開発に取り組んだ。構築した環境を利用し、サブ 6GHz 帯からアップコンバートした 28GHz 帯における出力電力、通信品質を計測し、空間分解能の計測法を検討すると共に、電波伝播の時空間分解能の計測システムを検討した。これにより、Beyond 5G で利用が進む高周波数を含めたダイナミック周波数共用の電波利用に関する基礎的な知見を得た。

さらに、理想的なフェージング環境を仮定して、本研究開発の方式によって得られる通信性能を評価するための数値解析フレームワークを構築し、基地局の送信パラメータ (アンテナウェイト) とメタサーフェスの構成要素 (反射振幅・位相) を効率的に最適化するアルゴリズムを検討し、ダウンリンクシナリオの数値解析を実施した。その結果、基地局送信電力を低減可能なメタサーフェス位相制御の基本動作を確認できた。また、メタサーフェスを利用しないベンチマークに対する電力効率の利得を確認できた。

研究開発項目 2-b)

時空間ダイナミックフロー制御技術の要素技術を確立するため、複数 Radio Access Technology (RAT) 対応経路選択制御技術の研究開発、およびサイクリック通信処理基盤のアーキテクチャの設計およびソフトウェア試作を行い、構築する評価環境において、適用効果の確認を行った。その結果、複数の異種 RAT (無線 LAN、ローカル 5G、キャリア 5G) を仮想化、シームレスな切り替えを実現するサイクリック通信処理基盤のアーキテクチャを確立した。また、初期検討として、無線 LAN のエリア内を移動する場合において、研究開発で得られた経路選択制御技術を試作ソフトウェアにより評価を行った。その結果、往復遅延の平均値が 6.9 ミリ秒から 5.9 ミリ秒 (15%減) に、標準偏差が 21.8 ミリ秒→10.7 ミリ秒 (51%減) に改善することを確認し、経路選択制御技術に往復遅延の抑制に効果があることを示した。

研究開発項目 2-c)

End to End QoE コントローラの制御アーキテクチャ設計、ならびに QoE 予測技術の基礎検討、シミュレーション評価を行った。具体的には QoE 予測に必要なネットワークの状態をロバストに推定する技術を開発した。従来技術では、複雑な要因によって品質が変動する 5G ネットワークへの対応ができなかった。一方、開発技術では品質変動要因を分解して分析することにより、分析のロバスト性を向上させ、安定に対応できることを検証した。

研究開発項目 3：ゼロトラスト・スケーラブルアクセス制御の研究開発

ゼロトラストの概念に基づく OT ネットワークの詳細なアクセス制御を低コストで行うため、人手で全てのポリシーを設定するのではなく、ポリシーを設定する人の意図や運用情報に基づいてポリシーを自動生成し、適用する技術の基本検討とアクセス制御基盤に必要なソフトウェアモジュールを試作した。ポリシーの自動生成については、検討した技術の基礎的な効果検証を実施し、人手で設定したポリシーに比べ、少ないポリシー設定で、より詳細なアクセス制御が実施可能なポリシーを生成できることを確認した。アクセス制御基盤については、ポリシーの適用に必要な情報収集機能およびエンフォース要件を定義し、検証環境を構築可能なソフトウェアモジュールとして開発を完了した。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1：ネットワーク型 OT 制御コンピューティング処理基盤の研究開発

令和 4 年度は、OT 制御共通基盤及びプランニングエンジンの仕様検討及び試作を行うと共に、ネットワーク型 OT 制御コンピューティング処理基盤に実装するネットワーク遅延フィードバック制御の要件検討及び実験を行う。OT 制御共通基盤の仕様検討及び試作では、OT デバイスの制御 API を抽象化し、認識、判断、制御の機能モジュールを自由に組み合わせて柔軟な OT デバイス制御を可能とする基盤及びクラウド-エッジ間の処理の仕様検討及び試作を行う。また、プランニングエンジンの仕様検討及び試作では、人からの抽象的な命令で OT デバイスの制御を実現するためのルールベースの AI 手法のプランニングエンジンの仕様検討及び試作を行う。さらにネットワーク遅延フィードバック制御の要件検討および実験では、クラウドとエッジ間のネットワークを跨いだ処理ループにおけるネットワーク遅延を考慮した OT デバイス制御に必要な機能要件の検討と、それに必要な机上評価及び実機評価を行う。

研究開発項目 2：QoE 指向時空間ダイナミック無線リソース制御の研究開発

研究開発項目 2-a)

ミリ波において可能な限り時空間分解能を上げると同時に適材適所にエリアが自動構築されるためのシステムの実現を目標とする。具体的には、28GHz 帯の利活用における空間分解能を高度化する基地局アーキテクチャの設計と、時間分解能・空間分解能の定量評価により本技術を確立する事を最終目標とし、中間目標としてその基礎確立を志向する。令和 4 年度は、6GHz 以上、特に 28GHz 出力電力とカバレッジ、および、通信品質の計測による、空間分解能を把握する。特に 28GHz 以上のミリ波において信号テスト環境を構築し、アップ/ダウンコンバータを用いた通信の確立を実現する。

より現実的な伝搬環境を想定したメタサーフェス制御の検討・評価を行う。基地局の送信パラメータ（アンテナウェイト）とメタサーフェスの構成要素（反射振幅・位相）を効率的に最適化するアルゴリズムを評価すると共に、基地局・メタサーフェス間、および、メタサーフェス・ユーザ間の伝搬路係数を効率的に取得する手法を開発する。

研究開発項目 2-b)

令和 4 年度は、よりシビアな無線環境での使用や要求性能の高いアプリケーションに対応するため、複数の RAT を同時に使用する冗長制御技術を検討し、時空間ダイナミックフロー制御への適用を図り、時空間ダイナミックフロー制御技術を確立する。具体的には、3 本以上の RAT を使用できる場合において、令和 3 年度に確立した RAT 切り替え技術と、令和 4 年度に確立する冗長制御技術を適切に併用できる時空間ダイナミックフロー制御技術を組み合わせ、適用効果を明らかにする。また、令和 3 年度に 2-c) で技術開発を行った QoE 予測技術と結合した場合の評価を行う。

研究開発項目 2-c)

令和 4 年度は、QoE を考慮に入れたネットワーク制御を実施するため、2-b) で令和 3 年度に技術開発を行った RAT 切り替え技術と End to End QoE コントローラを結合した制御方式を確立し、適用効果をシミュレーション評価、および、試作実装を用いた評価によって明らかにする。

研究開発項目 3：ゼロトラスト・スケーラブルアクセス制御の研究開発

令和 4 年度は、ゼロトラストの概念に基づく OT ネットワークの詳細なアクセス制御を低コストで行うため、同期型 CPS 内部の挙動を監視し、ネットワークや関連リソースの動的な変化に追従したポリシーの自動生成と、それを反映して適用可能なアクセス制御基盤の試作実装、評価を行う。