

採 択 番 号 04001
研究開発課題名 関数型パラダイムで実現する B5G 時代の
 資源透過型広域分散コンピューティング環境

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、Beyond 5G (以降、B5G と略す) 時代の通信インフラの利点・機能を積極活用した IoT アーキテクチャを創出し、アクターベースの関数型言語である Elixir (エリクサー) を礎とした革新的なコンピューティング環境を開拓することを目指す。

- ① エンドデバイス (エッジデバイス) からクラウドに至るネットワークに配置される構成要素である exMEC (extended MEC) に対して、これらのノードの資源特性に対して柔軟に処理を配置できる透過的な並列処理基盤を研究開発する。
- ② IoT システムの構成要素である IoT ノード (エンドデバイス、exMEC およびクラウド) について、Elixir プロセスが能率的に実行できる技術を研究開発する。
- ③ IoT ノード上で動作するアプリケーションの品質と性能を発揮できる最適な資源配分を決定するアルゴリズムを研究開発する。
- ④ 本研究開発の成果を活用して実証評価向けアプリケーションを開発する。

これらの研究開発に取り組むことで、IoT システムの開発・運用において必要とされる機能・性能を最大限に実現できるアーキテクチャを創出する。計算資源の特性や種類に依存しない統一された広域分散プラットフォームを構築し、関数型パラダイムに基づくプログラム性の高い超柔軟な IoT アプリケーションの開発環境を提供する。

本研究開発の成果を利用するシステム開発者は、IoT システムの構成要素であるエッジデバイスや MEC といった多様な資源特性は意識することなく、関数型パラダイムによる一体的なプログラミングが可能となる。開発された IoT アプリの各処理は、配分決定アルゴリズムによって計算資源が最適に割り当てられ、ネットワーク上に分散配置された各 IoT ノード上で透過的に動作するようになる。加えて IoT ノードの実行環境として具備された Elixir 処理系および通信ミドルウェアの機能によって、IoT システム全体の超低消費電力化が自動的に実現されるようになる。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 5 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人東京大学<代表研究者>
高知県公立大学法人
国立大学法人大阪大学
株式会社シティネット
さくらインターネット株式会社
学校法人近畿大学

(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 97 百万円 (令和 4 年度 75 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 資源透過型の分散処理プラットフォーム

- 1-a) アーキテクチャの検討・設計 (大阪大学、高知工科大学、シティネット)
- 1-b) プラットフォームの Elixir による実装 (高知工科大学、シティネット)

研究開発項目 2 IoT ノードの能率的な実行環境

- 2-a) ヘテロ SoC 向け BEAM 処理系の設計・実装 (東京大学、高知工科大学、シティネット)
- 2-b) B5G 向け通信ミドルウェア (さくらインターネット、東京大学)

研究開発項目 3 計算資源配分の決定手法

- 3-a) 最適配分アルゴリズム (近畿大学)
- 3-b) 優先制御と競合解決アルゴリズム (近畿大学)

研究開発項目 4 実証評価向けアプリケーションの開発 (さくらインターネット、東京大学)

(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	0	0
	その他研究発表	72	43
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	4	4
	展示会	2	2
	受賞・表彰	2	2

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1 資源透過型の分散処理プラットフォーム

1-a) 2021 年度に実施した検討結果を元に、プラットフォームのアーキテクチャの設計、基本設計を実施した。これに基づき、client, relay, engine, store の 4 層からなる資源透過型のプラットフォーム(以下 Giocci)のアーキテクチャを設計し、Elixir ならびに汎用向けの抽象化フレームワークの策定、ならびに Elixir 実装に向けた基礎検討と機能検証を実施した。

1-b) 1-a) の設計の結果を元に、資源透過型の分散処理プラットフォーム機能を Elixir で実装した。Giocci の基本的な 4 層(client, relay, engine, store)の実装を行い、双方向通信(client から engine への通信、engine から client への通信)を実現した。また、高知工科大学とクラウド(aws、さくらインターネット)を SINET で接続した閉域網内での検証を行い、マルチクラウド上での Giocci の基本的な 4 層のデプロイ、異なるネットワーク上からの双方向通信を確認した。

研究開発項目 2 IoT ノードの能率的な実行環境

2-a) プロセッサと FPGA を混載するヘテロ SoC について、Nerves 実行環境から FPGA の回路を書き込み・制御可能な IoT ノード実行環境を実現した。また、高知工科大学の屋内に工場型 MEC として RAN からコアまでを一式含む構成を想定した 5G を含めた広域分散型の実証実験環境を構築した。これと合わせて、高知工科大学内に構築された Local5G 環境及び、Local5G エミュレート環境から SINET 経由でクラウド(aws、さくらインターネット)に接続可能な NW 環境を構築した。

2-b) エッジデバイスの自律動作の実現に必要なノードディスカバリ機能と Pub/Sub 型通信に対応する DDS 通信機能を包含した Rclx クライアントライブラリを、Nerves デバイスで利用できるようにソフトウェアとして組み込み実装した。また、異なる NAT サーバ配下にある LAN 環境において、NAT サーバを越えて出版購読型の通信を実現する方式を検討した。OSS ソフトウェアである Zenoh に着目し、本研究開発項目で試作検討中の IoT ノードに実装して通信性能の評価を行った。本研究開発プロジェクトで整備・運用を行っている高知工科大の

Local5G 環境において、実際に NAT サーバを越えた環境下でこれが動作することを確認した。加えて、Elixir アプリケーションから Zenoh を利用できるようにするクライアントライブラリである Zenohex を初期実装し、この動作を確認した。これらにより、本研究開発で試作検討中のエッジデバイス、MEC、クラウド全てで Elixir 処理系での通信を実現できることになった。

研究開発項目 3 計算資源配分の決定手法

3-a) 資源配分メカニズムと意思決定アルゴリズムに関するサーベイを行うとともに Beyond 5G 環境に適したアルゴリズムの設計を行い、初歩的な実装とその評価を実施した。具体的には、計算要求を発生させるユーザの制約条件に基づき、自律分散的手法により決定論的な仕組みなして計算資源を配分させる手法を評価し、実装した。

3-b) 異なるドメインの間で計算資源の提供が行われる際に、単位通貨の交換レートの決定手法を提案し、評価した。複数のドメインにまたがる計算機資源の売買に関する初歩的な評価実験を行った。

研究開発項目 4 実証評価向けアプリケーションの開発

エッジ (デバイス)・MEC・クラウドそれぞれ、およびそれぞれの組み合わせ間で実行メトリック情報を取得するプログラムを設計・実装した。また、本研究開発試作プラットフォーム上で稼働させる実証評価向けアプリケーションを検討し、既出のアプリ例対照表の結果も参考にして本研究開発プロジェクトにおけるアプリケーションの候補を選定し、その基本設計に着手した。

(8) 今後の研究開発計画

2022 年度に整備した Local5G 基地局ならびにマルチクラウド環境を含めた広域分散型の実証実験環境を最大限に活用し、2023 年度は基盤技術の機能拡充および実用性の向上に注力しつつ、実証評価向けアプリケーションの開発に取り組む。

資源透過型プラットフォームについては、2022 年度までに完了した初期実装を実用的に活用しながら、拡張機能についてその実現方式を整理し実装を進める。IoT ノードの能率的な実行環境については、ヘテロ SoC 向け BEAM 処理系ならびに通信ミドルウェアの諸技術を資源透過型プラットフォームに統合することを目指す。資源配分アルゴリズムについても、2022 年度に実施した基礎検討および初期実装の成果を資源透過型プラットフォームの機能となるようにする。実証評価向けアプリケーションについては、本研究開発の最終目標である「動く実装」を実現するため、資源配分のための実行メトリック情報取得を実現するとともに、本実証実験環境の研究開発成果を統合したアプリ用クライアントライブラリを整備する。