

令和 5 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 03501
研究開発課題名 Beyond5G の高速通信・低遅延等に適したエッジ AI ソフトウェアの開発と動作実証に関する研究開発

(1) 研究開発の目的

Beyond5G 通信の特徴である高速通信・低遅延の特徴を生かすためにはデータ解析・予測・最適化を行う AI においても高速・軽量化が必須である。また、2030 年に向けて膨大な IT、IoT 機器や自動運転車、産業機械等から送信されるデータによる通信トラフィックへの負荷を低減するため、エッジコンピューティングで AI 処理する必要がある。この両者の技術課題を解決するために、深層学習のような AI とは異なるアプローチであるリアルタイム AI・特徴量自動抽出 AI 技術を深化させ、AI ソフトウェアだけでなく、エッジ AI デバイス市場や関連サービス市場の成長に貢献する。

(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

国立大学法人大阪大学<代表研究者>

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 5 年度までの総額 73 百万円 (令和 5 年度 22 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 エッジ AI に適した高速・軽量リアルタイム AI ソフトウェアの研究開発
研究開発項目 1-a) 時系列複合ビッグデータの高速モデル学習の研究開発 (大阪大学)
研究開発項目 1-b) 時系列複合ビッグデータからの効率的 AI 予測・最適化ソフトウェアの研究開発 (大阪大学)
研究開発項目 2 エッジ AI ソフトウェアの実装と動作検証に関する研究開発
研究開発項目 2-a) 車載通信デバイスやパワーデバイスにおけるエッジ AI ソフトウェア実装と動作診断・予測技術の研究開発 (大阪大学)
研究開発項目 2-b) 車載 IoT、産業 IoT におけるエッジ AI ソフトウェア実装と動作検証の研究開発 (大阪大学)

(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	3	2
	外国出願	3	0
外部発表等	研究論文	9	4
	その他研究発表	40	9
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	8	0
	展示会	1	0
	受賞・表彰	13	2

(7) 具体的な実施内容と最終成果

1) 研究開発項目1 エッジ AI に適した高速・軽量リアルタイム AI ソフトウェアの研究開発

研究開発項目 1-a) 時系列複合ビッグデータの高速モデル学習の研究開発

時系列複合ビッグデータの高速モデル学習の開発に向け、主に、リアルタイム高速特徴自動抽出、エッジ AI 化を志向した高速学習のための基盤技術の開発を実施した。具体的には、要素技術であるリアルタイム要因分析・予測技術をベースに、スパース性や非定常性の高い時系列解析技術の開発に取り組み、新たに、動的空間モデリングとパラメータ推定手法の研究開発、さらにそれらの技術を発展させ、エッジ AI 化を志向した高速学習のための基盤技術を開発した。本研究開発では、数多くの要素技術を考案しており、いずれも国際的に高い評価を得ている。具体的には、Web 分野の最難関トップ国際会議である ACM WebConf(WWW2023、WWW2024)に3件が採択された。これは実験データとして Web 情報を用いているものの、得られた基礎研究成果は IoT をはじめとするセンサデータに適用することも可能であり、Beyond5G の高速通信・低遅延等に適したエッジ AI ソフトウェアのための基盤的な研究成果である。さらに国内と海外の学術論文誌4件、表彰・受賞2件の業績をあげている。

研究開発項目 1-b) 時系列複合ビッグデータからの効率的 AI 予測・最適化ソフトウェアの研究開発

エッジ内においてリアルタイム学習を可能とするため、技術改良を行い、エッジ AI に適した高速・軽量リアルタイム AI ソフトウェアを開発した。これまでのリアルタイム AI 技術を改良し、動的数理モデル群（微分方程式等）を用いた新技術を開発し、AI ソフトウェアとして実装した。IoT/センサ等の多様な非定常時系列ビッグデータの中から、重要なパターンや前後関係を非線形動的モデルに基づき高速学習し、複雑な時系列データのダイナミクスの特徴抽出をリアルタイムに行い、高速・省メモリ・高精度に将来予測を行う。非定常ビッグデータを多数のシンプルな動的数理モデル群（微分方程式等）を用いて統合的に表現することにより、エッジ内での高速な個別学習・環境適応・将来予測を可能としている。最新の深層学習関連の予測手法と比較し、極めて高い予測精度の向上、および、558,423 倍の高速化を達成している。高速・軽量リアルタイム AI ソフトウェアは小型エッジデバイス、Raspberry Pi へ実装した。エッジ AI の動作検証、性能評価については研究開発項目 2-b) において実施した。

2) 研究開発項目2 エッジ AI ソフトウェアの実装と動作検証に関する研究開発

研究開発項目 2-a) 車載通信デバイスやパワーデバイスにおけるエッジ AI ソフトウェア実装と動作診断・予測技術の研究開発

パワーデバイスは実使用下では室温～約 250°C の急激な温度変化を繰り返し受ける。このような熱履歴を繰り返し替えることでデバイス内部の材料の熱膨張差に起因する金属接合箇所の劣化（微小亀裂）が蓄積し、最終的に故障に至ることから、まず実験室環境で室温～250°C の温度変化を 30 分ごとに繰り返すパワーサイクル試験機を設計した。実際のパワー半導体部は動作による発熱が生じて 250°C まで上昇するが、実半導体を用いると実験費用が膨大になり、また動作回路の追加などの技術的ハードルがあるため、疑似ヒーターチップを開発し、ヒーター配線に電流を流すことでチップ部分が 250°C の実動作と同様の発熱を起こすような実験手法を構築した。また、このチップを用いてパワーデバイス構造を試作し、接合部微小亀裂による振動を検知する AE センサシステムを搭載し、データ収集環境を構築した。

本システムを用い、得られたデータを高速学習技術を用いて解析した結果、故障の前兆

に繋がるレジーム分割を行うことができ、この結果をもとに故障発生の予測を行ったところ、実際の故障発生に対し高い精度で故障の予測を行うことが実証できた。実用化の取り組みとして、リアルタイム寿命予測の要素技術とソフトウェアを開発した。

研究開発項目 2-b) 車載 IoT、産業 IoT におけるエッジ AI ソフトウェア実装と動作検証の研究開発

基礎技術として開発した高速モデル学習技術を活用し、AI ソフトウェアを開発、実用化した。そして、開発技術を活用して、産業 IoT のためのリアルタイム設備故障予測技術を開発した。さらにソニーセミコンダクタマニュファクチャリングの半導体製造工程における DRY 装置のターボ分子ポンプの故障予測に関する実証実験を行い、技術の実用化、製造現場への事業導入を実施した。DRY 装置のターボ分子ポンプの突発故障は製造ラインへの影響が大きく、また高額パーツのライフ適正化をすすめることも可能となるため、故障予測のニーズは極めて高い。開発した技術によって、DRY 装置のターボ分子ポンプ故障をモチーフに事前に故障を予測し、計画保全を実現することとなった。

また、研究開発項目 1-b) において開発した高速・軽量リアルタイム AI ソフトウェアを小型エッジデバイスへ実装した。次世代におけるスマート工場・モビリティ機器の完全自律化実現に向けた取り組みであり、製造業における組み込み型機器やモビリティ搭載 AI 導入のための重要なステップである。特に、将来的な小型組み込み機器や車載 IoT への AI 導入に向け、開発システムの軽量化・小型化に関する改良を行い、小型エッジデバイス (Raspberry Pi 4 Model B) への実装を行った。また、開発システムのエッジデバイス上での稼働状況についても定量的に評価し、既存の深層学習モデルの計算と比較し、単位時間あたりの消費電力量が約 1/200 に削減 (つまり、99.5% のエネルギー削減) できることが示された。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

深層学習等を用いた予測技術は、学習データを集めるほど解析精度が向上するものの、蓄積すべきデータ量や解析時間、消費電力が膨大となり、リアルタイムでのモデル更新や小型端末内での処理には適しておらず、小型計算機環境でのリアルタイム解析技術は世界において確立されていなかった。また、深層学習を中心とした従来の学習技術は、大規模データを非常に複雑な単一モデルを用いて時間をかけて学習・表現するアプローチを用いている。一方で、本研究で開発しているリアルタイム学習・予測技術では、非定常ビッグデータを多数のシンプルな動的数理モデル群 (微分方程式等) を用いて統合的に表現することにより、エッジ等の少ない資源での環境下においても高速な個別学習・環境適応・将来予測を可能とするところに従来にない新規性と独創性がある。開発した独創的な AI 技術の強みを活かし、製造業をはじめとする産業 IoT 分野、車載 IoT のようなモビリティ分野にターゲットを絞り、それらの分野に焦点を合わせた AI ソフトウェアを開発する。

本研究開発課題のような AI 分野における世界の潮流とは全く異なる独創的な取り組みは、異分野連携、産学連携からヒントを得て課題設定することが多い。AI 分野の常識を覆す革新的な研究成果を創出するため、これまでの豊富な社会実装と産学連携の経験を活かし、今後も新たな AI 技術開発とその実用化に取り組む。