

Title	IoTシステム開発の複雑さを低減するための統合的アーキテクチャ
Author(s)	栗林, 健太郎
Citation	
Issue Date	2025-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/19921
Rights	
Description	Supervisor: 篠田 陽一, 先端科学技術研究科, 博士

氏 名	栗 林 健 太 郎
学 位 の 種 類	博士 (情報科学)
学 位 記 番 号	博情第 543 号
学 位 授 与 年 月 日	令和 7 年 3 月 21 日
論 文 題 目	IoT システム開発の複雑さを低減するための統合的アーキテクチャ
論 文 審 査 委 員	篠 田 陽 一 北陸先端科学技術大学院大学 教授
	田 中 清 史 同 教授
	宇 多 仁 同 准教授
	鈴 木 正 人 同 准教授
	高 瀬 英 希 東京大学 准教授

論文の内容の要旨

This research proposes a Dynamic Isomorphic IoT System Architecture to reduce the complexity of development in IoT systems, which have traditionally been considered to have a heterogeneous configuration. In conventional IoT system development, different technologies and programming languages are often used in the device layer, edge layer, and cloud layer, leading to decreased development efficiency and interoperability issues due to this heterogeneity. Moreover, the complexity of coordination and data flow between layers increases, adding to the burden on developers.

To address these challenges, this research makes the following three proposals. First, we propose and implement a data flow platform that enables integrated design and development of the entire IoT system using a single programming language. Specifically, by leveraging the Elixir language and its ecosystem, we construct a consistent development environment from the device layer to the cloud layer. This eliminates technical gaps between layers and reduces the complexity of IoT system development. Second, we propose and implement a method that allows developers to dynamically apply code changes to applications within IoT devices. Traditionally, code changes to devices required firmware updates and reboots, delaying the development cycle. The proposed method allows immediate application of code changes to running devices, enabling a rapid development cycle and improving development efficiency. Third, we propose and implement a dynamic and isomorphic IoT system architecture utilizing WebAssembly (Wasm). Development using a single language may impose constraints on incorporating new technologies, and introducing dynamic update methods without guidelines may cause confusion in system design. The proposed method uses Wasm, which has portable characteristics, to easily incorporate necessary functionalities, using common Wasm binaries across layers and making those parts dynamically updatable, thereby balancing integration and flexibility.

To verify the effectiveness of these proposed methods, we conducted implementations and performance evaluations based on actual use cases. In the first proposal, we developed a data flow platform named Pratipad and demonstrated that integrated design and implementation of data flows from the device layer to the cloud layer using the Elixir language is feasible. This enabled us to construct realistic IoT systems comprising multiple layers and provided a technical foundation that allows data flows to be described in an easily comprehensible manner, demonstrating its effectiveness on a realistic scale. In the second proposal, we proposed and implemented a method for dynamically applying code changes to IoT devices and experimentally showed that the time required for updates can be significantly reduced compared to existing firmware update methods. This accelerates the development cycle and reduces the

developers' burden. In the third proposal, we evaluated the utility of an isomorphic IoT system using Wasm in use cases involving image recognition and machine learning models. By using common Wasm binaries across layers, we ensured functional consistency and reusability while enabling dynamic feature updates.

Overall, the proposed methods in this research address the challenges of heterogeneity in IoT system development, achieving both improved development efficiency and system flexibility, thereby reducing the complexity of IoT system development. This enables rapid development and deployment of IoT systems and allows for adaptation to future technological innovations, significantly contributing to the advancement of the IoT field.

Keywords: IoT system development; Dynamic isomorphic IoT systems; Elixir; Nerves; WebAssembly

論文審査の結果の要旨

本論文は、従来の IoT システム開発において、開発過程における異種混合性による開発効率の低下や相互運用性の問題および層間連携やデータフローの複雑性増大による開発者の負担の低減を主目的としている。

これらの課題を解決するために、(1) IoT システム全体を単一のプログラミング言語で統合的に設計・開発することを可能とするデータフロー基盤、(2) IoT デバイス内のアプリケーションに対して開発者がコードの変更を動的に適用可能な手法、(3) WebAssembly (Wasm)を活用した動的・同型な IoT システムアーキテクチャの提案という三つの手法の提案と実装という実践的なアプローチで解を与えている。

具体的には実際のユースケースに基づく実装と性能評価を行っており、第一の提案ではデータフロー基盤として Pratipad を開発し、Elixir 言語を用いてデバイス層からクラウド層まで一貫したデータフローの設計と実装が可能となることを示し、第二の提案では IoT デバイスへのコード変更の動的適用手法を提案・実装し、既存のファームウェア更新方式と比較して、更新に要する時間を大幅に短縮できることを実験的に示し、第三の提案では画像認識や機械学習モデルを用いたユースケースにおいて、Wasm を活用した同型 IoT システムの有用性を評価し、各層で共通の Wasm バイナリを使用することで、機能の一貫性と再利用性を確保しつつ動的な機能更新が可能であることを示した。

以上、本論文は IoT システム開発における異種混合性の課題を解決し、開発効率の向上とシステムの柔軟性を両立させることにより、IoT システム開発の複雑さを低減させる手法を実践的に提供したものであり、学術および実用の両面で貢献するところが大きい。よって博士(情報科学)の学位論文として十分価値あるものと認めた。