

令和元年6月24日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05305

研究課題名（和文）組み込みシステム開発基盤のための革新的動作検証プロトタイプシステムの研究

研究課題名（英文）Operation Veridation Prototype System for Embedded Systems

研究代表者

安積 卓也 (Takuya, Azumi)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：40582036

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、アイデア・ニーズを早期に実現するプロトタイプシステムのための、組み込みソフトウェア開発基盤を構築した。まずは、制御ロジック（ブロック図等のモデル）のソフトウェア部品化（制御ロジックモデルからプログラムを生成し利用しやすくしたもの）し、新規制御ロジック開発を行う仕組みを構築した。次に、生産性の高いプログラミング言語であるスクリプト言語をベースとしたプロトタイプの開発基盤を構築した。IoT機器にも適用できるように、通信ミドルウェアとの連携機構を構築し、スクリプト言語からネットワークのプログラミングが行えるようにした。さらに、将来にデバッグ環境を想定した実行時の情報を抽出する機構を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モータ等の制御のモデル（ブロック図等を用いて制御方法を表現したもの）をソフトウェアの部品として扱える仕組みを導入した。さらに、生産性の高いプログラミング言語であるスクリプト言語を利用できる環境の提供を行った。IoT機器への応用を考慮して、ネットワークのソフトウェアとの連携を行える機構の研究開発を新規に行った。これらの機構を用いることによって、組込機器及びIoT機器のソフトウェア開発の生産性の向上に貢献した。

研究成果の概要（英文）：This research proposed an embedded software development platform for a prototype system that realizes ideas and needs early. First, the control logic model such as block diagram was made into software components which made it easy to generate a program from the model of control logic), and the mechanism including new control logic development was constructed. Next, I proposed a prototype development platform based on a highly productive programming language, which is a scripting language. To apply to IoT devices, we have also built a linkage mechanism with communication middleware so that it is possible to program the network directly from the script language. Furthermore, I proposed a mechanism to extract runtime information, assuming a debugging environment in the future.

研究分野：情報学

キーワード：計算機システム ソフトウェア開発効率化・安定化 ソフトウェア工学 制御工学

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

#### ① 研究の学術的背景

日本のものづくりの国際競争力が低下してきており、早期に商品のアイデア・ニーズを見極め素早くプロトタイプを作成する革新的な組み込みソフトウェア設計・開発技術の創出が求められてきている。製品のアイデア・ニーズを早期に確認するために、迅速にプロトタイプを作成することは、現在の日本の産業界で解決すべき課題の一つである。3Dプリンタによる模型の作成が容易になり、Arduino（オープンソースのマイコン基盤・ソフトウェア環境）をはじめとする簡易な組み込みシステム開発環境を利用することにより以前よりプロトタイプの作成がしやすくなってきている。しかし、Arduinoには、モデルベース開発（制御ロジックをベースにコード生成）やネットワーク・クラウド連携等の高機能なプログラムの開発は困難、ソフトウェア（ライブラリ）の再利用性が低いなどの問題を抱えている。

### 2. 研究の目的

アイデア・ニーズを早期に実現するために、スクリプト言語・モデルベース開発を取り入れた組み込みソフトウェア開発基盤を確立することである。

具体的な研究項目は、①制御ロジックの部品化、②スクリプト言語と通信ミドルウェアの連携、③デバッグ支援のための情報を提供する機能の構築である。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、アイデア・ニーズを早期に実現するために、スクリプト言語をベースとしたプロトタイプの開発及び、制御ロジックを取り込む組み込みソフトウェア開発基盤確立を目的としている。上記の目的を達成するために下記の研究を行った。

#### ① 制御ロジックの部品化

制御ロジックの部品化を実現し、新規制御ロジック開発を行う仕組みを構築する。

#### ② スクリプト言語と通信ミドルウェアの連携

IoT 機器等との連携を行うために、スクリプト言語と通信ミドルウェアの連携基盤を構築する。

#### ③ デバッグ支援のための情報を提供する機能の構築

一般的にコンポーネントシステムはデバッグが難しいと言われており、デバッグを効率的に行うために、コンポーネントの動的情報を入手する仕組みを提供する。

### 4. 研究成果

#### ① 制御ロジックの部品化

制御ロジックの部品化を実現し、新規制御ロジック開発を行う仕組みを構築する。

・制御ロジックのソフトウェア部品化：MATLAB・Simulink で作成された制御モデル（微分方程式及び制御ブロック図：図 1 上側）をモデルベース開発のツールである Embedded Coder で生成された C 言語のプログラムを元にソフトウェアコンポーネント化（部品化）を行った。

・リアルタイム OS・割り込み対応：タスク割り当て、割り込み処理などは、リアルタイム OS の機能を用いて実現した。

動作確認として、ブラシレスモーターを利用した。本研究の成果は、雑誌論文③④、学会発表④⑤

⑥の発表を行った。

#### ② スクリプト言語と通信ミドルウェアの連携

スクリプト言語と通信ミドルウェアの連携（図 2）を行う。リアルタイム OS 上の通信ミドルウェアと mruby の連携を行った。これまでに申請者は mruby のスクリプトプログラムから組み込み機器やリアルタイム OS の機能呼び出す機構の研究開発を行ってきた。しかし、ネットワーク・クラウド連携のため、リアルタイム OS 上の通信ミドルウェアとの連携は今後の課題となっていた。リアルタイム OS 上で動作する通信ミドルウェアを、mruby プログラムから利用できるようにするために、mruby のライブラリとして通信ミドルウェアを提供できる仕組みの研究

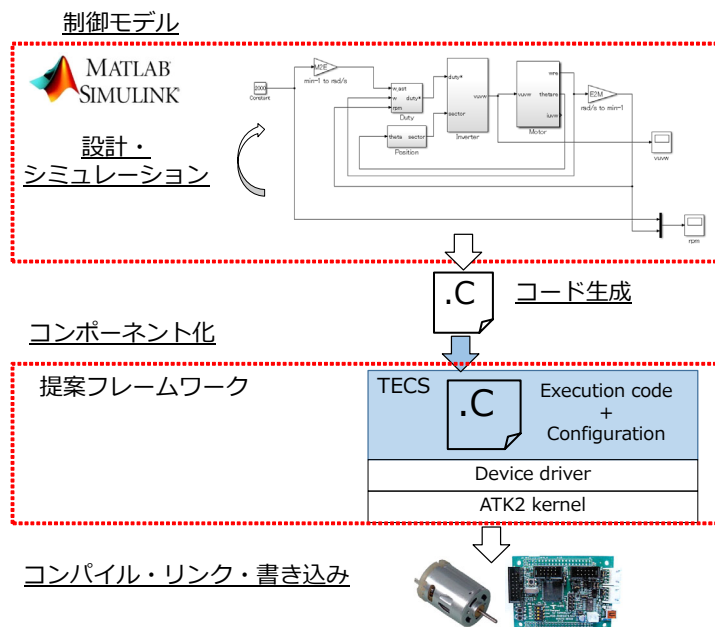


図 1 モデルベースを組み込んだ開発の流れ

開発を行った。具体的には、リアルタイム OS の TCP/IP プロトコルスタックである TINET (通信ミドルウェア) を TECS コンポーネントで部品化を行った。さらに、コンポーネントベース開発の特長を活かし、通信ミドルウェアをカスタマイズできる仕組み (最低限必要な機能に絞って通信ミドルウェアを構築) を導入する。この仕組みを利用することにより、IoT (Internet of Things) 機器などメモリ制約のある機器への適用ができると考えている。さらに、部品化を行った通信ミドルウェアコンポーネント (部品) を mruby プログラムから呼び出せる仕組みを構築した。本研究の成果は、雑誌論文①②、学会発表②③の発表を行った。

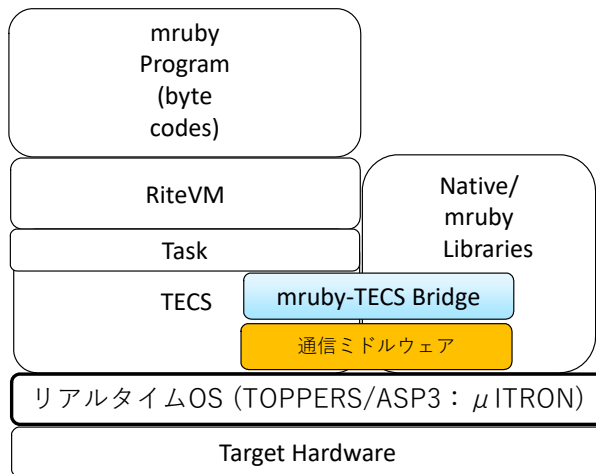


図 2 スクリプト言語との連携

③ デバッグ支援のための情報を提供する機能の構築

コンポーネント記述と実装で使われているプログラミング言語と乖離があり、一般的にコンポーネントシステムはデバッグが難しいと言われている。本研究では、デバッグ向けの情報を抽出し、コンポーネントシステムのデバッグ支援を行う基盤を構築する。具体的には、情報を動的に抽出するためのコンポー

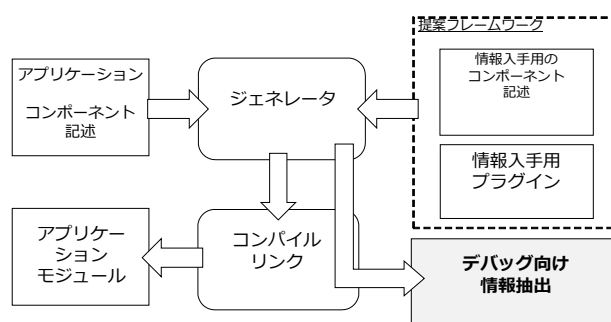


図 3 デバッグ情報の抽出

ネントを自動生成するプログラム (図 3 情報入手プラグイン) を新規にて提供することで、開発者がほしい情報 (図 3 デバッグ向け情報抽出) を入手できるようになる。この機能を利用することで、コンポーネントのデバッグに利用するだけでなく、スクリプト言語を動作させるために利用している VM の動作状況確認できるようになる。

本研究の成果は、学会発表①の発表を行った。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① (査読有り) Takuro Yamamoto, Takuma Hara, Takuya Ishikawa, Hiroshi Oyama, Hiroaki Takada, and Takuya Azumi, ``Component-Based mruby Platform for IoT Devices'', IPSJ Journal of Information Processing, Vol. 26. pp. 549-561, 2018.
- ② (査読有り) Takuro Yamamoto, Hiroshi Oyama, and Takuya Azumi, ``Component-Based Framework of Lightweight Ruby for Efficient Embedded Software Development'', JSSST Journal on Computer Software, Vol.34, No.4, pp.3-16, 2017.
- ③ (査読有り) Ryo Hasegawa, Naofumi Yawata, Noriaki Ando, Nobuhiko Nishio, and Takuya Azumi, ``Embedded Component-based Framework for Robot Technology Middleware'', IPSJ Journal of Information Processing, Vol.25, pp.811-819, 2017.
- ④ (査読有り) Jaeyong Rho, Takuya Azumi, Hiroshi Oyama, Kenya Sato, and Nobuhiko Nishio, ``Distributed Processing for Automotive Data Stream Management System on Mixed Single- and Multi-core Processors'', ACM SIGBED Review, Vol. 13 Issue 3, pp.15-22, 2016.

[学会発表] (計6件)

- ① (査読有り) Seito Shirata, Hiroshi Oyama, and Takuya Azumi, ``Runtime Component Information on Embedded Component Systems'', In Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC 2018), Bucharest, Romania, Oct. 2018.
- ② (査読有り) Takuro Yamamoto, Takuma Hara, Takuya Ishikawa, Hiroshi Oyama, Hiroaki Takada and Takuya Azumi, ``TINET+TECS: Component-Based TCP/IP Protocol Stack for Embedded Systems'', In Proceedings of the IEEE 14th International Conference on Embedded Software and Systems (ICES2017), Sydney, Australia, Aug. 2017.
- ③ (査読有り) Takuro Yamamoto, Hiroshi Oyama, and Takuya Azumi, ``Lightweight Ruby Framework for Improving Embedded Software Efficiency'', In Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications (CPSNA 2016), pp.71-76, Nagoya, Japan, Oct. 2016.
- ④ (査読有り) Ryo Hasegawa, Naofumi Yawata, Noriaki Ando, Nobuhiko Nishio, and Takuya Azumi, ``RTM-TECS: Collaboration Framework for Robot Technology Middleware and Embedded Component System'', In Proceedings of the 19th IEEE International Symposium on Real-time Computing (ISORC 2016), pp.212-220, York, UK, May 2016.
- ⑤ (査読有り) Jaeyong Rho, Takuya Azumi, Hiroshi Oyama, Kenya Sato, and Nobuhiko Nishio, ``Distributed Processing for Automotive Data Stream Management System on Mixed Single- and Multi-core Processors'', In Proceedings of 8th International Workshop on Compositional Theory and Technology for Real-Time Embedded Systems (CRTS 2015), San Antonio, Texas, Dec. 2015.
- ⑥ (査読有り) Ryo Hasegawa, Hiroshi Oyama, and Takuya Azumi, ``Brushless Motor Control using RTM and TECS'', WiP session of the 21st IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA2015), Hong Kong, China, Aug. 2015.

[その他]

ホームページ等

<https://www.toppers.jp/tecs.html>

## 6. 研究組織

個人研究のため分担者なし。

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。