

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：14401  
研究種目：若手研究(B)  
研究期間：2012～2014  
課題番号：24700035  
研究課題名(和文)安全性・生産コストを考慮したロボット向けソフトウェアプラットフォームの構築

研究課題名(英文) Robot Software Platform with Safety and Cost Consideration

研究代表者  
安積 卓也 (Azumi, Takuya)  
大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：40582036  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年、災害地帯でのレスキューロボットや、工場の産業ロボットなどロボット技術が注目されている。しかし、安全性や生産コストの面で問題があった。本研究の目的は、組み込みシステム向けコンポーネントシステムであるTECSのコンポーネントとロボット向けのRTC(Robot Technology Component)を連携させることにより、安全でリソース消費量を抑えたプラットフォームを実現することである。RTCからTECSコンポーネントの呼出しを、リアルタイム性の厳しいブラシレスモータ制御(ブラシありの普通のモータより時間制約が厳しい)の検証を行った。

研究成果の概要(英文)：Recently, robot technologies have been popular such as rescue robots in the disaster fields and industrial robots in the factories. However, there are problems with safety and cost. The purpose of this research is to realize a safety robot platform with low resource consumption. This platform provides a collaboration between two component technologies: TECS (TOPPERS Embedded Component System) component and RTC (Robot Technology Component). We evaluated the platform using a brushless motor which is more difficult to control than a normal motor.

研究分野：組み込みシステム

キーワード：組み込みソフトウェア ロボット コンポーネントベース開発

1. 研究開始当初の背景

近年、介護、工場内の作業補助、危険地帯の作業など人に代わって作業を行う目的で、サービスロボットの必要性は、日に日に高まっている。ロボット向けのプラットフォームとして、産業総合研究所を中心に策定した RTC (Robot Technology Component) の標準仕様がソフトウェアの国際標準化団体 OMG (Object Management Group)において、国際標準として採用されている。しかし、RTC は、動的結合（実行時に構成を変更できる）をベースとしたコンポーネントである。そのため、動的な構成変更により、不確実な動作や予期しない動作をする可能性があり、安全性に問題がある。一般的に安全に関わる部分のソフトウェアは、μITRON などの組込みシステム向けのリアルタイム OS を利用し、リアルタイム性を保証する。さらに、実用化に向けては、生産コストを抑える必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、申請者が今まで行ってきた研究である組込みシステムに適したコンポーネントシステム TECS (TOPPERS Embedded Component System) を利用し、上記の問題を解決する。TECS の特色として、静的結合をベースとしたコンポーネントシステム、粒度の小さなコンポーネント、リアルタイム OS 上での動作が挙げられる。ログをファイルに出力するコンポーネント図の例を図 1 に示す。

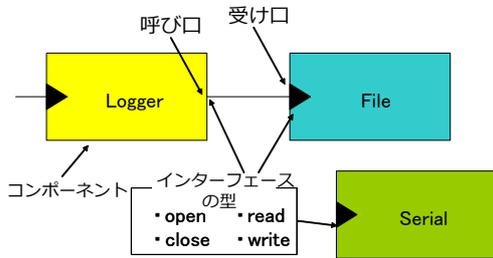


図 1 TECS コンポーネント図の例

コンポーネントは、他のコンポーネントに機能を提供するインターフェース（受け口）と他のコンポーネントを利用するインターフェース（呼び口）を持つ。これらのインターフェースを結合することによってアプリケーションを開発する。結合は、インターフェースの型が同じ時のみ結合できる。この例の場合、ファイルとシリアルインターフェースの型が同じなので、ファイルとシリアルのコンポーネントを入れ替えることができる。TECS は静的結合をベースとしているため、コンポーネントの生成、結合のオーバーヘッドを無くすことができ、静的に構成が決まるため、メモリの使用量も予測できる。さらに、実行時のオーバーヘッドを削減するための呼出しの最適化手法も提案している。

図 2 に RTC のコンポーネントモデルを示す。RTC は、データポートとサービスポート

の 2 種類のインターフェースを持っている。データポートは、画像、音声、文字などのデータ通信のためのインターフェースであり、サービスポートは、カメラ操作など、他のコンポーネントの機能(関数)を呼び出すためのインターフェースである。

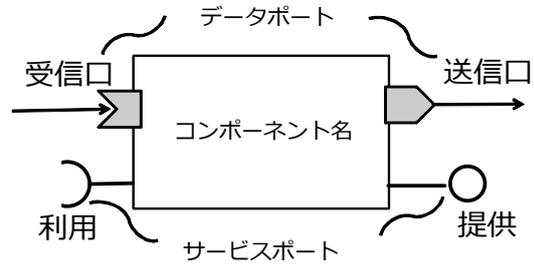


図 2 RTC のコンポーネントモデル

本提案研究で実現する RTC と TECS のコンポーネント（以下、TECS-C と略す）の連携により、実現するプラットフォームの構成例を図 3 に示す。モータ制御など安全に関わる部分（下位）を TECS-C で、サービスロボットの（上位）を RTC によって実現する。本研究課題では、RTC から TECS-C を利用する仕組み

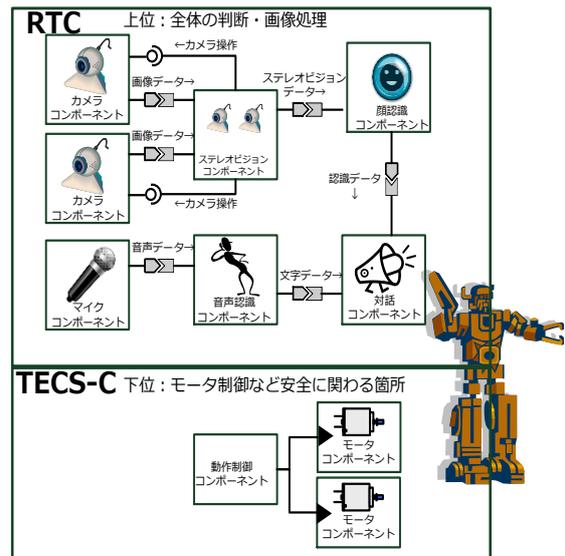


図 3 本プラットフォームの構成例

を研究開発し、安全性・生産コストに考慮したロボット向けソフトウェアプラットフォームを構築する。

3. 研究の方法

RTC と TECS-C の連携では、研究目的でも述べたとおり、RTC を上位、TECS-C 下位として利用する。そのため、基本的に RTC から TECS-C を利用（呼び出す）ことを想定すれば良い。さらに、RTC 同士の通信（研究目的：図 2）は、データポート及び、サービスポートを利用したコンポーネント間通信が行われるが、RTC と TECS-C 間は、サービスポートを利用した通信のみになると考えられる。本申請課題では、RTC と TECS-C 間の通信としては、シリアル通信と TCP/IP 通信を想定する。

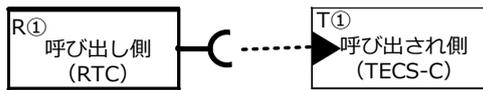


図 4 RTC から TECS-C の呼び出し

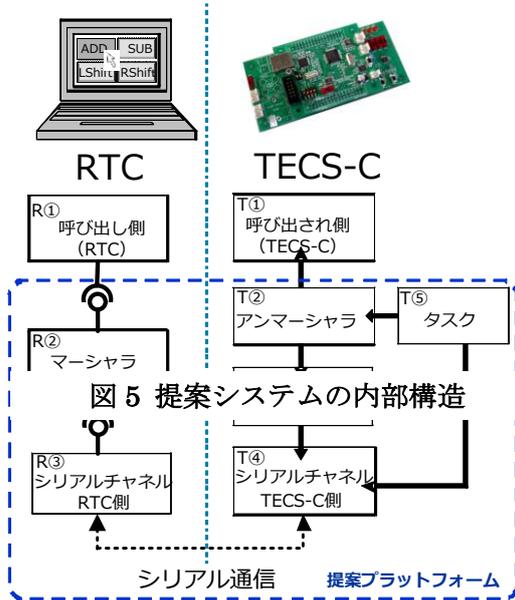


図 5 提案システムの内部構造

図 4 に示す、RTC (R①) から TECS-C (T①) の呼び出しについて考える。RTC から TECS-C の呼び出しの実現方法について、シリアル通信の例を用いて説明する (図 5)。RTC (図 5 左側) は、産業総合研究所から提供されているパソコン上で動くシミュレータで動作、TECS-C (図 5 右側) は組み込み機器上で動作することを想定している。

図 5 中の R①及び T①のみ図 4 の元々のコンポーネントであり、残りの点線で囲まれた部分が提案プラットフォームで提供する部分である。本プラットフォームは、申請者が研究開発を行ってきた TECS の RPC (遠隔呼び出し) 機構を応用して実現する。R①から関数呼び出しを行った場合、まず、マーシャラ (R②) では、関数情報を、関数 ID や各引数に分解する。分解されたデータをシリアル通信用のコンポーネント (R③) に送る。

一方 TECS-C 側では、アンマーシャラ (T②) が、RTC 側から送られて来た関数 ID、引数情報を受け取り、T①の目的の関数呼び出しを行う。データ表現コンポーネント (T③) では、データサイズなどを調節するコンポーネントである。シリアルチャネル (T④) は、組み込み機器側のシリアル通信を管理するコンポーネントである。タスクコンポーネント (T⑤) は、 $\mu$ ITRON ベースのリアルタイム OS のタスクであり、アンマーシャラを起動する。開発者の負担を軽減するために、最終的には、点線で囲まれた部分を自動生成する仕組みを提供する。

#### 4. 研究成果

(1) シミュレーション環境での呼び出し  
サービスポートを用いた RTC から TECS-C の呼び出しを実現した。TECS-C の動作環境は、これまでの申請者らの研究成果である ARM の命令セットシミュレータ、RTC の動作環境は産業技術総合研究所から提供されているシミュレータを用いて動作確認を行った。

(2) 実機環境での呼び出し  
サービスポートを用いた RTC から TECS-C の呼び出しを実機環境での動作確認を行った。TECS-C の動作環境は、H8/3069 プロセッサを搭載したボード、RTC の動作環境は、ARM プロセッサを搭載した Raspberry Pi 上でそれぞれ動作確認を行った。

(3) リアルタイム性の厳しいアプリケーションに適用  
サービスポートを用いた RTC から TECS-C の呼び出しを、リアルタイム性の厳しいアプリケーションでの検証を行った。具体的には、ブラシレスモータ制御 (ブラシありの普通のモータより、時間制約が厳しい) に本提案プラットフォームを適用 (通信にはシリアル通信を利用) することで、リアルタイム性を守り動作できることを確認した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 吉本達也, 潮俊光, 安積卓也, ``プロセッサ故障に伴う過負荷状態の回避を考慮した最適出力フィードバック制御器の設計,`` 情報処理学会論文誌 組み込みシステム特集号, 2015. 採録決定
- ② Tatsuya Yoshimoto, Toshimitsu Ushio, and Takuya Azumi, ``Adaptive Assignment of Deadline and Clock Frequency in Real-Time Embedded Control Systems,`` IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E98-A, No. 1, pp. 323-330, 2015.
- ③ 石川 拓也, 安積卓也, 大山博司, 本田晋也, 高田広章, ``メモリ保護を考慮した組み込みシステム向けソフトウェアコンポーネント技術,`` コンピュータソフトウェア, Vol. 31, No. 4, pp. 104-130, 2014.
- ④ Atsushi Ohno, Takuya Azumi, and Nobuhiko Nishio, ``TECS Components

Providing Functionalities of OSEK Specifications for ITRON OS," IPSJ Vol.22, No.4. pp.584--594, 2014.

[学会発表] (計7件)

- ① **Takuya Azumi**, Yuki Nagahara, Hiroshi Oyama, and Nobuhiko Nishio, "mruby on TECS: Component-based Framework for Running Script Program," In Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC 2015), Auckland, New Zealand, Apr. 2015.
- ② Atsushi Ohno, Takayuki Hikawa, Nobuhiko Nishio, and **Takuya Azumi**, "Integration Framework for Legacy and Generated Code in MBD," WiP session of the 26th Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS14), Madrid, Spain, Jun, 2014.
- ③ Yuki Nagahara, Hiroshi Oyama, **Takuya Azumi**, and Nobuhiko Nishio, "Distributed Intent: Android Framework for Networked Devices Operation," In Proceedings of the IEEE 10th International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS2013), Sydney, Australia, Dec. 2013.
- ④ **Takuya Azumi**, Yasaman Samei Syahkal, Yuko Hara-Azumi, Hiroshi Oyama, and Rainer Dömer, "TECSCE: HW/SW Codesign Framework for Data Parallelism Based on Software Component," In Proceedings of the International Embedded Systems Symposium (IESS), pp.1-13, Paderborn, Germany, Jun. 2013.
- ⑤ Takuya Ishikawa, **Takuya Azumi**, Hiroshi Oyama and Hiroaki Takada, "HR-TECS: Component Technology for Embedded Systems with Memory Protection," In Proceedings of the 16th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC 2013), Paderborn, Germany, Jun. 2013.
- ⑥ Yawata Naofumi, **Azumi Takuya**, and Nishio Nobuhiko, "Enhancement of Real-time Processing by Cooperation of RTM and TECS," Work-in-Progress Session of the 18th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time

Computing Systems and Applications (RTCSA2012), Seoul, Korea, Aug. 2012.

- ⑦ Atsushi Ohno, **Takuya Azumi**, and Nobuhiko Nishio, "TECS Components Providing Functionalities of OSEK Specification for ITRON OS," In Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS2012), pp. 1434-1441, Liverpool, UK, Jun. 2012.

[その他]

ホームページ等

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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安積卓也 (AZUMI TAKUYA)

大阪大学大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号：40582036