

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330065

研究課題名(和文) プログラム言語Rubyの組み込みシステム開発への適用と高性能VMの開発

研究課題名(英文) Applying the programming language Ruby for embedded system development and implementation of high performance VM

研究代表者

田中 和明 (Tanaka, Kazuaki)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：70253565

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：産業競争力の観点から、組み込みシステム開発の効率を向上させることが望まれる。可読性が高いことで知られるプログラム言語Rubyを組み込みソフトの開発で利用できるようにし、さらに、作成したプログラムを実行するためのVM(仮想計算機)を開発した。従来のRubyに比べ1/100程度のメモリで動作するVMが完成し、開発したソフトウェアはオープンソースとして公開した。

研究成果の概要(英文)：Recently, software productivity is crucial especially in embedded system development. The Ruby language, which is famous in software readability and maintainability, is adopted to embedded software, which is named mruby. In this research, the compact implementation of mruby was developed. The mruby-VM, which executes the mruby codes, is the key to this implementation. As the result, the memory consumption of mruby execution becomes 1/100 of traditional Ruby implementation.

研究分野：組み込みシステム

キーワード：組み込みシステム 仮想計算機 プログラム言語 リアルタイム処理 Ruby

1. 研究開始当初の背景

現代社会で動作するほぼすべての装置は、ハードウェアとソフトウェアが強調して動作する組込みシステムである。近年、家電製品の高機能化・ネットワーク化、産業機器の普及と複雑化から、組込みシステムの開発も大規模になってきている。組込みシステムは社会で幅広く使用され、ミッションクリティカルな分野でも一般的になっている。したがって、組込みシステムの安全性と信頼性は人の社会生活にとって最も重要な点である。しかし、一般にはシステムの複雑化に伴い、開発コストが上昇し、安全性と信頼性は低下する傾向にある。組込み技術者が少ないこともこの問題を深刻にしている。日本は組込みシステム開発において国際競争力を持っているにもかかわらず、技術者不足から、安定したシステム開発を継続できていない。また、技術者の育成も次第に難しくなっている。すなわち、今日の組込みシステム開発に要求されることは、少ない技術者で大規模かつ複雑なシステムを開発できるようになることである。

2. 研究の目的

IT 関連製品の高機能化や産業機器の高度化により、組込みシステムの重要度が増している。組込みシステムは、ハードウェアデバイスとソフトウェアアプリケーションが密結合しており、その開発技術者には、ハードとソフトの両方の知識と経験が必要である。しかし、そのような技術者は慢性的に不足している。組込みシステムの開発、特に、ソフトウェア開発を効率化することで、技術者の不足と開発コストの上昇に対抗する。本研究では、国産のプログラム言語である Ruby を使った組込みシステム開発を提案する。組込みシステムにおける要求と制約を満たす

システム開発を日本独自の技術で実現し、国際競争力を持った組込み製品開発を鹿野とする技術を確立するのが目的である。

3. 研究の方法

組込みソフトウェアの開発を効率よく行うためにプログラム言語 Ruby を用いた開発手法を示し、提案する開発手法の実現に必要なとなる軽量 Ruby の高性能 VM を実装する。組込みソフトウェアは、ハードウェアに組込まれて動作することから、ハードウェアの制約下でソフトウェアを開発する。具体的なハードウェアの制約として、動作時の消費メモリとリアルタイム性に着目する。すなわち、動作時の消費メモリが少なく、リアルタイム性が必要なプログラムを実行できる仕組みを実装する。

動作時の消費メモリを少なくするため、あらかじめ Ruby プログラムをコンパイルしておき、そのオブジェクトコードを逐次実行する。このとき、Ruby の持つソフトウェアの柔軟性が失われてしまうと、開発効率を下げることになるため、Ruby の標準規格 (ISO/IEC 30170 および JIS X 3017) に準拠した実装とする。

リアルタイム性に対応するため、VM が実行を開始してから、Ruby プログラムの実行を開始できるようになるまでの時間 (主に初期化時間) を最小化するため、初期化におけるメモリアクセスを少なくする実装を行う。結果として、この実装は、ROM 領域に置かれたプログラムを RAM 領域に展開する必要がなくなることから、実行時の消費メモリを減らすことにも寄与する。

4. 研究成果

組込みシステムで要求されるハードウェアの制約を満たす Ruby の実行環境 (VM) を実装できた。

実行時の消費メモリについては、従来の

Ruby の実行で必要だったメモリの約 1/100, 軽量化した Ruby の実装である mruby の約 1/10 で実行できることを確認した (表 1).

表 1: 消費メモリの比較

	実行時の消費メモリ
Ruby	数 MB (Ruby のバージョンによる)
mruby	400KB 以下
本研究の VM	40KB 以下

一方, リアルタイム性について, プログラムの実行にかかる時間を計測した (図 1). これは, 簡単な繰り返し処理を行うプログラムの実行時間であり, 横軸にプログラムの処理量 (繰り返し回数) を, 縦軸に実行時間を示している. 汎用 PC (Intel Core-i3, 2.1GHz, 64bit 環境) で計測した.



図 1: 実行時間の比較

Ruby, mruby, 本研究での実装 (mruby/c と表記) を比較している.

この結果から, 開発した VM は, 実行速度が遅い反面, プログラムの起動にかかる時間が最も短いことが分かる. また, 起動時間が短くなるように実装したことで, 実行時の処理性能は低下している (グラフの傾きが浅いほど処理性能が高い). この結果は本研究が最初に予想しているとおりでである. 図 2 で示した起動時間にはプログラムの

ロード時間も含まれるため, プログラムを ROM 上に配置するなどの工夫により, 起動時間をほぼゼロにできる.

以上の結果から, 当初の目的であった実行時の消費メモリが少なく, リアルタイム性を持った Ruby を実行するための VM の開発に成功したといえる.

実装した VM を小型マイコンに搭載して, 本研究の成果を実際のハードウェアに適用できるか検証した. Cypress 社の PSoC5LP (Cortex M3, RAM 64KB, ROM 256KB) で VM を作成し, Ruby プログラムを実行させた (図 2).

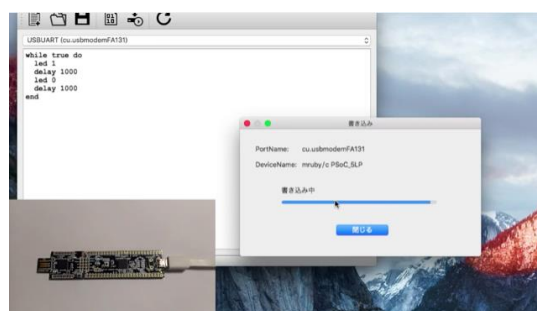


図 2: PSoC5LP での実行結果

Ruby プログラムを編集し, コンパイル済みのプログラムをマイコンボードにケーブルで転送している.

研究成果は, オープンソースとして公開し, 研究期間終了後も継続的に開発を行っている. 「mruby/c」という名称でオープンソースとして, ソフトウェア開発プロジェクトのための共有リポジトリ GitHub にて公開している.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 田中和明, Ruby を使った組込みソフト開発 -mruby による組込みシステム開発-, 情報処理, 査読あり, Vol.56, No.12, pp.1178-1181, 2015

- ② Avinash Dev., Kazuaki Tanaka, Yukihiro Matsumoto, mruby—Rapid Software Development for Embedded Systems, Computational Science and Its Applications (ICCSA) 2015, 査読あり, Proc. Of Future Computing System Technologies and Applications (FiSTA) 2015, pp.27 – 32, 2015
DOI: 10.1109/ICCSA.2015.22

[学会発表] (計 2 件)

- ① 田中和明, mruby 入門～組み込みソフト開発を効率アップ～開発, ETwest2015 IPA SEC 先端技術入門ゼミ, 大阪市(大阪府), 2015 年 6 月 10 日
- ② 田中和明, 軽量 Ruby フォーラム と mruby, 第 4 回 全国組み込み産業フォーラム・地域連携セミナー, 那覇市(沖縄県), 2015 年 2 月 13 日

[その他]

ホームページ

<https://github.com/mrubyc/mrubyc>

6. 研究組織

(1)研究代表者

田中 和明 (TANAKA Kazuaki)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・
准教授

研究者番号： 70253565