

外部環境認識エミュレーションによる組込みシステム回帰テスト手法

趙立晴[†] 藤平達[†]

概要:近年、組込みシステムでは、画像など外部環境からのセンシングデータによる自動制御が多くなっている。検証として実機と非実機が用いられている。実機では制御入力となる外部環境の再生が難しい。非実機では外部環境に相当する大量の複合的の時系列テストデータを用意することが困難である。そこで、外部環境認識のエミュレーションを通じ、テストを繰り返し再現可能とする回帰テスト手法を提案する。本手法はマイコンボードと連動し、センサデータ、制御出力の自動取得、センサデータの自動再入力および制御結果の可視化を実現する。手法はルームエアコンにおける風向制御へ適用し、評価する。

キーワード:実機検証, 非実機検証, 自動制御, 回帰テスト, 組込みシステム

Regression Test Method for Embedded System through Environment Recognition Emulation

Liqing Zhao[†] Toru Fujihira[†]

Abstract: Recently, automated control increases due to sensing data like images for environment recognition in embedded systems. Verification can be conducted through actual equipment or virtualization equipment. Reproducing of external environment as control inputs is difficult for actual equipment. Preparing large amount of multiple time series test data instead of external environment is difficult for virtualization equipment. Therefore, we proposed a regression test method to implement reproductive tests through environment recognition emulation. In the method, we implement automatic obtention of sensor data and output of control module, automatic sensor data re-entry, and visualization of control results by linking to microcomputer board. We evaluate the method by applying it in verification of airflow control in room air conditioner.

Keywords: Actual Equipment Verification, Virtualization Equipment Verification, Automatic Control, Regression Test, Embedded System

1. はじめに

情報家電、自動車などの組込みシステム製品において、ソフトウェアが制御や機能の中心的役割を担うようになり、高機能化、複雑化が進んでいる[1]。そのため、組込みシステム製品の不具合はハードウェアよりソフトウェア起因であることが多くなっている[2]。開発規模が増加する一方、激しく変化する市場に合わせ、製品のライフサイクルが短縮している。このような背景のもと、組込みシステムの品質向上と短納期開発という二律背反する要求を両立させるため、検証工程の効率化が求められている。

組込みソフトウェアの検証を困難にしている要因の一つとして、本質的に多くの組込みソフトウェアはセン

サやアクチュエータを持つ実機上で動作し、外界とのインタラクションを行いながら動作することがある。このため、組込みソフトウェアの品質を確保するためには、ハードウェアも含めた実機環境でのテストは欠かすことができない。しかし、こうしたハードウェアも含めた実機環境を用意できるのは組込みソフトウェアの開発の最終段階であることが多いため、品質確保に必要なテストを十分に行うことが困難になる。

一般に組込みソフトウェアの外界とのインタラクションの検証技術として、シミュレーション、組込みボードエミュレータなどの非実機検証技術や物理モデルによるモデルベース開発技術などが用いられている[4][5][6][7][8]。[7]では、QEMU(Quick Emulator)を使って実機レステスト環境を構築することで、専用の組込みボードの完成を待たずにテストができる。[8]では、自動

[†]株式会社 日立製作所 研究開発グループ

車制御ソフトウェアの実機レス検証環境 vHILS に対して、任意の統合テストを実現する Unified Controller を開発した。

一方で、近年組込みシステムにおけるセンサやアクチュエータなどが増えつつある[3]。ソフトウェア制御は従来の温度、圧力などの単一センサデータに基づいているものから画像、音声などの高度なセンサデータ及びそれらデータの分析結果に基づいている自動制御まで発展してきた。こういったシステムでは時系列的に生じた大量の複合的データを分析し、判断して具体的な制御アクションにつなげ、高度な機能を実現する。センサデータの分析処理は AI(Artificial Intelligence)アルゴリズムを用いて行う場合もある。AI 分析結果に基づいて複雑な制御を行うことでユーザの多様なニーズを満たす。前述したように、このようなシステムの検証は実機検証と非実機検証が用いられている。実機検証では制御入力となる複雑な外部環境が再生しにくく、検証回数が限られている。非実機検証では、外部環境に相当する大量の複合的時系列テストデータを用意することが困難で、工数がかかる。

本研究では、外部環境認識エミュレーションによる組込みシステムの回帰テスト手法を提案する。外部環境認識におけるセンサデータ自動取得、制御出力の自動取得、センサデータの自動再入力、パソコン画面での外部環境と制御結果の可視化を通じ、外部環境を認識した結果に基づく複雑な制御機能への回帰テストを実現する。

2. 課題

2.1. 対象システム

組込みシステムに高度なセンサを搭載することにより複雑な制御を実現している。従来の操作者から操作指令による制御から、外部環境認識による自動制御に変化してきた(図 1 に示す)。外部環境認識による自動制御システムにセンサデータ処理システムと制御システムがある。制御システムは大量の複合的時系列センサデータとその分析結果に基づき、リアルタイムにアクチュエータの動作を制御する。

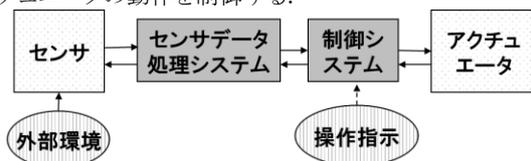


図 1 対象システム

2.2. 課題

図 1 に示す制御システムの検証に対し、既存手法(実機検証と非実機検証)における課題を検討する。

(1) テストの回数制限

実機検証ではテストを特定の外部環境というテスト環境(例えばテストルーム)で実施する必要がある。特定のテスト環境のリソース制限のため、実施可能なテスト回数が限られている。

(2) テストの再現性

実機検証では外部環境は時間と共に変化しているため、制御ソフトの修正に対し、繰り返してテストを実施するたびに制御入力に変化してしまい、不具合が再現しにくい場合がある。

(3) テストの工数

実機検証では毎回実テスト環境を準備したり、物理的な設定を行ったり、手順が煩雑である。テスト環境の準備から、テストの実行、結果判定までを手動で実施するため、毎回多大な工数がかかる。非実機検証では、制御入力となる外部環境を模擬するため、大量の複合的時系列テストデータを作成する必要があり、テストデータ作成に多大な工数がかかる。また、制御の特定数が短い、演算が複雑な場合、実機検証に比べ、シミュレータでのテスト実行がより多い時間がかかる場合がある。

(4) テストの厳密度

実機検証では外部環境に合わせ、アクチュエータが正しく動作するかを目視で判定するか、またはその他の間接的な方法で測定する。結果、制御結果の判定が厳密ではない場合がある。非実機検証では制御結果を可視化することで厳密に判定できるが、作成した時系列テストデータが実際の外部環境データではないため、テストの漏れが発生する場合がある。

3. アプローチ

3.1. アプローチ

外部環境認識による自動制御システムの検証向けに、実機検証と非実機検証のメリットを取り入れ、図 2 に示す検証システムを構築する。本検証システムは組込みボード、センサシステム及びパソコンで構成される。システム構成の特徴は表 1 に示す。組込みボードとセンサシステムに制御ソフトウェア、センサデータ処理ソフトウェアを搭載する。パソコンにモデル開発環境、マイコン統合開発環境と回帰テスト可視化ツール(自作ツール)をインストールする。



図 2 検証システム

表 1 検証システム構成の特徴

構成の特徴	期待効果
センサシステム, 組み込みボードを通じ, 外部環境から実機に相当する外部環境センサデータを取得し, パソコンに保存する.	2.2 の課題(3)に対し, テストデータの作成が不要となり, テストの工数が低減できる.
マイコンツールなどの開発環境搭載するパソコンと組み込みボード, センサシステムと連動し, センサデータ, 制御出力の取得, センサデータの再入力を実現する	2.2 の課題(1)に対し, 無制限のテスト実行が可能である. 2.2 の課題(2)に対し, テスト再現が可能である.
回帰テスト可視化ツールを通じ制御出力とセンサデータの時系列対応関係に対し, 実行ログデータに基づき, 厳密な数学計算を行い, 空間対応などの制御効果をパソコン画面上に可視化する.	2.2 の課題(4)に対し, より厳密的に制御結果を判定することが可能である.

システムの検証は以下の二段階で実施する.

(1) 実写テスト

検証システムを実テスト環境に置いて, 外部環境認識におけるセンサデータを取得し(①), パソコンに保存する(②). 同時にセンサデータを組み込みボードに入力して制御ソフトを実行して制御出力をパソコンに保存する(③). 時系列のセンサデータに合わせ, 制御出力を可視化する(④)ことで制御結果を判定する. パソコンに保存したセンサデータを二回目以後のテストに再利用する.

(2) 回帰テスト

実テスト環境から離れた環境に制御ソフトのデバッグに伴い, 外部環境認識におけるセンサデータを自動的に再入力して回帰テストを実施する. 図 2 に示したセンサデータの自動再入力(⑤), 制御出力の自動取得(⑥), 制御結果可視化(⑦)を通じて回帰テストを実施する.

二回目以後のテストは実テスト環境ではなく, 他の任意場所に卓上で実施することが可能である. 一回目の実環境で取得したセンサデータを再利用することで, テストデータの作成が不要となる.

以上を実現するための回帰テスト可視化ツールはマイコン統合開発環境, MATLAB/Simulink/Stateflow と連動して4つの機能を持っている.

(1) センサデータの自動取得

センサデータとセンサデータの分析結果(例えば画像認識結果)をマイコンボードからパソコンにダウンロードして保存する. 本操作はシステムの動作シーケンスに合わせ自動的に完成する.

(2) 制御出力の自動取得

制御プログラムをマイコンボードにダウンロードして実行する. 実行しながら, モータの回転パルスなどの制御出力を取得してパソコンのログファイルに保存する. マイコンボードへのプログラムダウンロードから制御出力の保存までのすべての動作を自動化している.

(3) センサデータの自動再入力

機能(1)に保存したセンサデータとその処理結果を時系列に合わせてパソコンからマイコンボードに自動的に送信する. このような外部環境のエミュレーションで制御ソフトを駆動する.

(4) 制御結果の可視化

パソコンに保存したセンサデータと制御出力データを読みやすい画像, グラフ, 位置座標などに変換して, 時系列に合わせて可視化する.

3.2. ルームエアコンの機能検証への適用

ルームエアコンではカメラの搭載といった高付加価値化に伴い, 開発規模が急増し, 検証が困難となっている. 一例として, カメラが人・部屋の状況を検知して, 生活シーンにあわせて快適になるように風向を制御する機能がある. 図 3 に示したように, カメラから取った画像を処理して, 人数, 人の位置などの検出データを制御ソフトに入力して, 複数枚の上下風向板と左右風向板の動作を制御することで風向を制御する. 本研究はカメラによる風向制御の検証に適用した.

風向制御検証に向け, 図 2 に示した検証システムを構築した. パソコン上に構築した回帰テスト可視化ツールの構成を図 4 に示す. 回帰テスト可視化ツールはモデルベース開発ツール MATLAB/Simulink/Stateflow, マイコンツール CS+, 自作ツール Camera Viewer と連動し, テストを繰り返し再現し, 可視化により制御結果をパソコン画面に表示する.

MATLAB/Simulink/Stateflow は制御ソフトの開発、シミュレーション及びコードの自動生成が行われるモデルベース開発のツールである。マイコンツール CS+はコードをビルドしたり、マイコンボードにダウンロードしたり、制御出力を自動的に取得したりする開発環境である。Camera Viewer はセンサデータをマイコンボードから取得したり、マイコンボードに再入力したりする自作ツールである。

センサデータの自動取得は d, e(図 4)で実現される。制御出力の自動取得は図 4 の a, b, c(図 4)(モデルベース開発の場合)または b, c(図 4)(ハンドコード開発の場合)で実現される。センサデータの自動再入力も d, f(図 4)で実現される。c で取得した制御出力と e で取得したセンサデータを加工し、時系列に合わせ、風向エリアとルーム内画像を重ねて表示することで、制御結果の可視化を実現する。

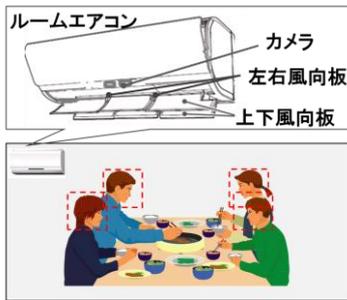


図 3 適用対象

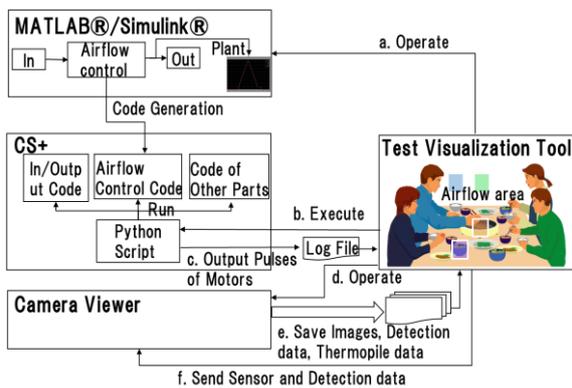


図 4 回帰テスト可視化ツールの構成

3.3. 適用結果

実施可能なテストの回数制限、テストの再現性、テストの工数、およびテストの厳密性において従来手法(実機検証と非実機検証)と比較して評価した結果を表 2 に示す。

表 2 適用結果

比較項目	実機	非実機	提案手法
テストの回数制限	ある	ない	ない
テストの再現性	ない	ある	ある
テストの工数	大	中等	小
テストの厳密度	低い	中等	高い

4. まとめ

センサデータの分析結果による複雑な制御機能の検証に対し、外部環境認識エミュレーションによる組込みシステムの回帰テスト手法を提案した。提案した手法をルームエアコンのカメラによる風向制御の検証に適用し、検証環境を構築した。自動取得したセンサデータによりテストを再現できることを確認した。今後、マイコンボードのエミュレーション拡張およびモデルベース開発環境との連動を強化し、パソコンベースの回帰テスト可視化手法を改善していく。

参考文献

- [1] 西原秀明, 大野喜宏など, 組込みシステムにおける検証アーキテクトと育成プログラム, SEC journal Vol.12 No.3 Dec.2016.
- [2] 情報処理推進機構, 組込みソフトウェア産業の動向把握などに関する調査まとめ, May 2017.
- [3] 青木崇行, 桐原幸彦など, 制御ルールを考慮したセンサアクチュエーターネットワーク機構の構築, 情報処理学会論文誌, コンピューティングシステム Vol.12 No.2 Jul 2009.
- [4] Jakob Engblom, Guillaume Girard, Bengt Werner, Testing Embedded Software Using Simulated Hardware, ERTS Jan 2006.
- [5] Andy Walter, Torsten Rupp, Florian Weber, GUI Simulator for Automated Testing of Embedded Systems, DOI 10.5162, Mar 2016.
- [6] 小泉哲弥, 神戸崇幸, 秋山和彦, エアコンにおけるファームウェア設計プロセスの改革, 東芝レビュー Vol.62 No.9 2007.
- [7] 原嶋秀次, 蔭山佳輝など, 仮想化技術による実機レステスト環境の構築, 東芝レビュー Vol.67 No.8 2012.
- [8] 伊藤康広, 勝康夫など, シミュレータによる非実機車載ソフトウェア検証環境の統合制御コントローラ, 第 12 回情報科学技術フォーラム, 2013.