

組込みシステム遠隔検証のための動作特性データ収集システムの開発 Development of an operational data acquisition system for remote verification of embedded systems

赤井 建太[†] 千葉 俊光[‡] 千葉 慎二[†]
Kenta Akai Toshimitsu Chiba Shinji Chiba

1. はじめに

組込みシステムとは産業機器や家電製品などを制御するために組み込まれるコンピュータシステムのことである。

組込みシステム開発においては、制御対象となるハードウェアの理解に加え、それを制御するためのマイクロプロセッサ(MPU)のプログラム開発、さらには FPGA や CPLD を用いたハードウェア設計等、ソフトウェア、ハードウェア設計の両方の知識が必要となる。

仙台高等専門学校(以下”仙台高専”あるいは”本校”)というでは MPU と CPLD を搭載したソフトウェアとハードウェアの協調設計を学習するための実習ボードを開発し^[1]、授業や社会人向け研修^[2]での組込みシステム開発実習に活用している。

設計したシステムを実習ボードに実装し動作確認を行うことは、組込みシステム開発の学習において重要である。開発した回路やプログラムは PC 上のシミュレーションによる動作確認が可能であるが、モータ等の接続モジュールの操作やハードウェアとソフトウェアの協調動作は不可能であるため、実機による動作確認が必要となる。

しかし学校により準備された実習ボードは限られた場所、時間でしか使用することができず、台数も限られているため持ち出すこともできない。またコストが高いため個人で用意することも難しい。

そこで、実習ボードを Web ブラウザからインターネット経由で遠隔操作し、動作確認できるシステム「遠隔実習システム」が本校の千葉研究室で開発された^[3]。このシステムを用いることにより、本校の組込みシステム研修の受講生は自宅からの自主学習が可能になった。

2. 研究概要

2.1 従来の遠隔実習システムについて

2.1.1 実習ボード

実習ボードとして、(有)エグゼキュートシステムのカメレオン AVR、カメレオン AVR 指南^[4]、オプションボードを接続したものを使用している(図 2.1.1.1 参照)。

カメレオン AVR には CPLD として Altera 社の MAX II EPM570、MPU として Atmel 社の AVR マイコンである ATmega64 が搭載されている。

カメレオン AVR 指南にはトグルスイッチ(TSW)、赤外線センサ、LED といった入出力素子が搭載されており、CPLD や MPU の入出力インターフェイスとして使用することができる。

オプションボードには3種類のモータが搭載されており、カメレオン AVR をカメレオン AVR 指南に接続すれば CPLD や MPU から制御することができるようになる。

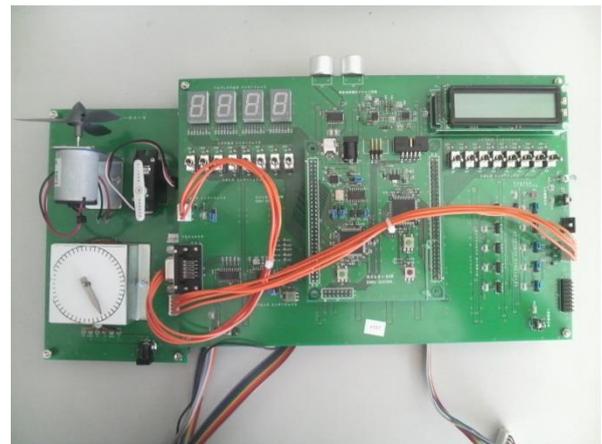


図 2.1.1.1 カメレオン AVR・カメレオン AVR 指南(右)とオプションボード(左)

2.1.2 構成

図 2.1.2.1 に遠隔実習システムの構成を示す。遠隔実習サーバには実習ボードとそれを制御するための制御回路、実習ボードの様子を撮影するためのネットワークカメラが接続されている。Web ブラウザを用いてインターネット経由で遠隔実習サーバにアクセスすることにより実習ボードの遠隔操作を行うことができる。

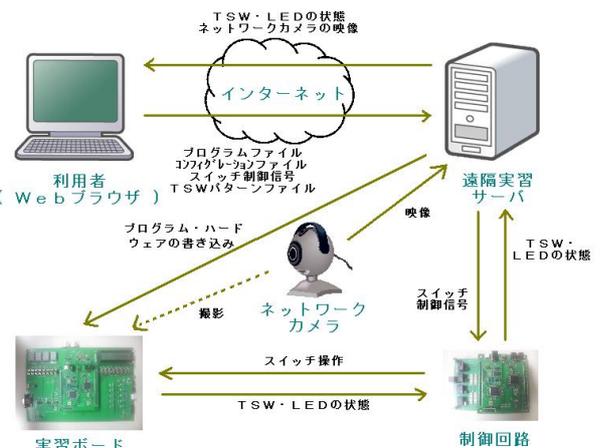


図 2.1.2.1 従来の遠隔実習システムの構成図

[†]仙台高等専門学校

[‡]東京エレクトロン宮城株式会社

2.1.3 機能

ユーザは Web ブラウザを用いて遠隔実習システムにアクセス後、ユーザに与えられた ID とパスワードを用いてログインする。次に実習ボードの予約画面にて実習ボードの予約を行う。予約した時間になると実習ページへのリンクが表示され、クリックすると実習画面にて実習を行うことができる。

遠隔実習システムは以下の機能が実装されている。

- **CPLD のコンフィグレーション**
ユーザの PC で作成された回路情報を遠隔実習サーバにアップロードすることで、CPLD のコンフィグレーション (回路の実装) を行うことができる。
- **MPU のプログラム書き込み**
ユーザの PC で作成されたプログラムを遠隔実習サーバにアップロードすることで、MPU のプログラムの書き込みを行うことができる。
- **ネットワークカメラによる実習ボードの確認**
実習ボードを撮影しているネットワークカメラの映像により、動作確認を行うことができる。またカメラのズームイン・アウト、向きの調整を行うことができる。
- **実習ボードのトグルスイッチ (TSW) の操作**
Web ブラウザに表示されるボタンを押すことで、対応する実習ボードの TSW のオン・オフを操作することができる。
- **連続 TSW 入力機能**
TSW の入力とそのタイミングを記述したリストのファイルを作成し遠隔実習サーバにアップロードすることで、連続した TSW の入力を行うことができる。

2.1.4 制御回路

図 2.1.4.1 に遠隔実習システムで使用している制御回路を示す。制御回路はカメレオン AVR と自作基板で構成されている。自作基板には実習ボードの入出力素子 (TSW、LED) との接続のための端子と 4 つのリレー回路が搭載されている。制御回路は遠隔実習サーバからの入力信号パターン (TSW の ON/OFF パターン) を適切なタイミングで遠隔実習ボードに入力する。また、リレー回路によって遠隔実習ボードやカメラ撮影用の蛍光灯の電源を制御している。

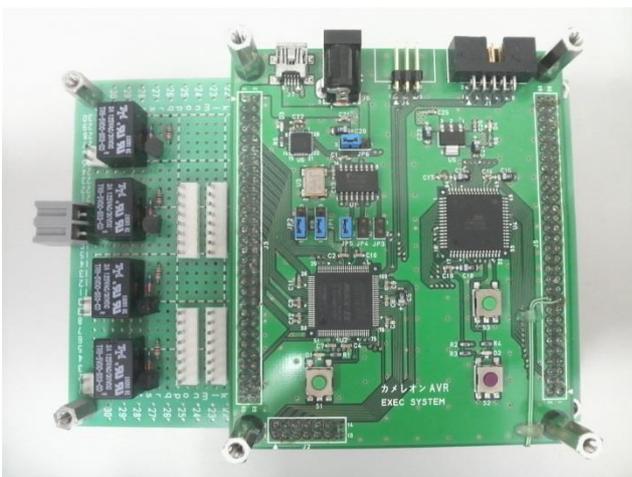


図 2.1.4.1 制御回路

2.2 問題点

本システムを研修で活用してもらいその有効性を確認したところ、ネットワークの遅延やフレームレート等のため、Web カメラの映像による動作確認には限界があること、また本システムは個人毎の利用を想定して構築されたため、グループ学習には適していないことが分かった。

2.3 解決方法

連続 TSW 機能実行時の遠隔実習ボードの入出力信号を監視し、変化のあった時間とその時の入出力信号パターンのリストをファイルとして保存してユーザに提供する機能「動作特性データ収集システム」を開発することにより、より時間解像度の優れた動作確認の手段を提供する。

複数のグループメンバーでシステムへ同時ログインし、遠隔実習ボードの操作を共有可能とする。またチャット機能を追加することで、遠隔実習ボードで動作検証しながらチャットでディスカッションが可能なグループウェアに改良する。

3. 期待される効果

従来システムは実習ボードを使った自学自習を自宅等の遠隔で実現することを目的としていたため、個人での利用を想定し動作確認機能も限定されたものであった。本件での動作特性データ収集やグループウェアとしての改良は、グループ学習における組込みシステム動作検証での利用はもちろん、実際の組込みシステム開発の現場で行われているチーム開発での動作検証への活用も期待できる。

4. 現在の実装

4.1 動作特性データ収集システム

4.1.1 実装方法

従来の遠隔実習システムには連続 TSW 入力機能があり、図 4.1.1.1 に示す流れで処理を行う。TSW パターンの変化を経過時間と変化する TSW パターンの対で記述したスイッチパターンファイルを遠隔実習サーバにアップロードすると、遠隔実習サーバはそれを文字列に変換して制御回路に送信する。制御回路はその文字列を読み取り、記述されたタイミングで記述された TSW の入力を行う。

本件での動作特性データ収集システムでは、図 4.1.1.2 のように TSW 入力信号と LED 出力信号のフィードバック処理を追加することで、動作特性データ収集システムの実現を図る。

連続 TSW 入力実行時、制御回路の MPU は 1 ミリ秒毎に内部カウンタをインクリメントすることで実行時間を計測し、そのタイミングで実習ボードの TSW 入力と LED 出力を取得する。1 ミリ秒前に取得したデータと比較して TSW 入力や LED 出力に変化が生じると、遠隔実習サーバに現在の時間と状態を送信する。

制御回路は全ての TSW 入力を終わると遠隔実習サーバに終了信号を送信する。

終了信号を受信した遠隔実習サーバは今までに送られてきた状態変化のデータを1つの波形ファイルとしてまとめ、ユーザの PC に送信する。

ユーザは波形表示プログラムを用いて受信したファイルから遠隔実習ボードで処理された入出力パターンを波形として閲覧することが可能である。

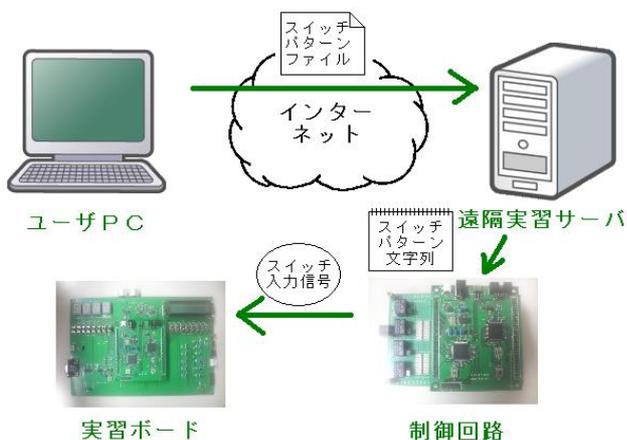


図 4.1.1.1 連続 TSW 入力機能の処理

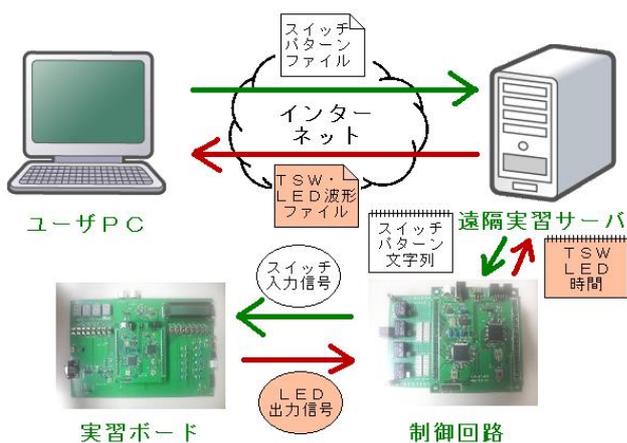


図 4.1.1.2 動作特性データ収集システムの処理

4.1.2 動作確認結果

TSW 入力を反転して LED に出力する回路・プログラムを実習ボードに書き込み、リスト 4.1.2.1 に示すスイッチパターンファイルで動作特性データ収集システムを動作させ、波形ファイルを得た。得られた波形ファイルを”GTKWave”^[5]という波形表示プログラムで表示すると図 4.1.2.1 に示す波形が得られた。

リスト 4.1.2.1 の 1 行目の”1ms”は時間の単位(この場合は 1 ミリ秒)を表す。2 行目以降は左端の数値が TSW を入力するタイミングを示す時間、続く 16 個の数値が入力する TSW のパターンを表す。

図 4.1.2.1 の TSWR は実習ボードの MPU の TSW 入力、TSWL は CPLD の TSW 入力、LEDR は MPU の LED 出力、LEDL は CPLD の LED 出力を示しており、それぞれ 8 ビットである。TSW 入力と LED 出力のビットが反転しており、期待通りの波形が得られていることが確認できる。

リスト 4.1.2.1 動作確認に使用したスイッチパターンファイル

```
1ms,,,,,,,,,,,,,
0,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0
1000,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1,1,1
2000,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
3000,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1
```

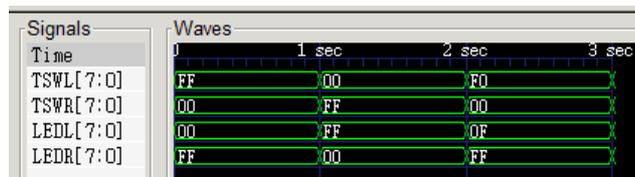


図 4.1.2.1 動作確認で得られた波形

4.2 グループウェアへの改良

4.2.1 実装機能

グループウェアへの改良に当たり、従来の遠隔実習システムに追加した機能を以下に示す。

- 複数ログイン
複数のユーザが同時にログインできる環境を構築する。
- 実習ボードの予約 (&取り消し)
実習ボードの個人での予約とグループでの予約の 2 種類の予約方法を提供する。
- チャット
グループメンバー間でのテキストによる意思疎通の環境を提供する。
- 実習ボード上で稼働中の回路・プログラムの表示
グループメンバー全員が現在の実習ボード上で稼働中の回路・プログラムを共有できる機能を提供する。

4.2.2 実装方法

”Microsoft Visual Web Developer 2010 Express”^[6]を用いて Silverlight アプリケーションを開発、公開することでグループウェアとしての遠隔実習システムを実現した。

4.2.3 動作確認結果

4.2.1 で示した機能である複数ログイン、実習ボードの予約 (&取り消し)、チャット、実習ボード上で稼働中の回路・プログラムの表示についてシステムへの実装を完了し、動作確認を行った。動作確認時の実習ボードの予約画面を図 4.2.3.1 に示す。

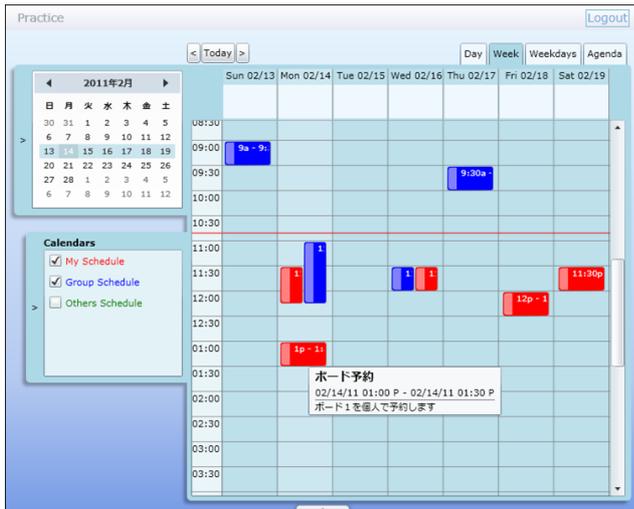


図 4.2.3.1 動作確認時の実習ボードの予約画面

5. 今後の課題

5.1 動作特性データ収集システム

動作特性データ収集システムの精度は 1 ミリ秒であり、組込みシステムの動作検証を行うには実用的な精度とは言えないため、さらなる精度の向上が求められる。

精度の向上を妨げているのは制御回路の MPU で発生する遅延である。そのため MPU の処理の一部を CPLD に実装することで MPU の負担を軽減し遅延の解消を試みる。CPLD に処理の一部を移すに当たり、CPLD にはデータを格納するためのバッファが必要となるため、CPLD の持つバッファであるユーザ・フラッシュ・メモリ(UFM)の使用を検討している。

5.2 グループウェアへの改良

グループウェアへと改良した遠隔実習システムは、システム構築に用いた PC 上での動作確認が完了した段階のため、ネットを経由した複数の PC による動作確認を行う必要がある。

また以下の機能について開発を進め、本システムへの実装を目指す。

- 表情アイコン
考え中、作業中といった表情アイコンによる意思疎通の補助を行う。
- 議事録作成
実習中のチャット内容、コンフィグレーションファイル、プログラムファイル、TSW と LED の入出力パターンを元に議事録を自動作成する。ダウンロードすればディスカッションした内容を容易に振り返ることができる。

5.3 遠隔検証システムの実践と評価

動作特性データ収集システムの精度の向上とグループウェアへの改良を行った後、仙台高専での学内授業や社会人向け研修コースにおいて本遠隔検証システムの実証実験を

行い、受講生の評価結果等を参考に改善点を発見し解決することにより、実用性の向上に努める。

5.4 複数基板の同時接続

グループウェアへの改良が完了すれば 1 つのグループが 1 つの基板を操作することができるようになるが、1 つのグループが同時に複数の基板を使用したり、複数のグループが同時に実習を行うことはできない。

そこで図 5.4.1 に示すように、制御回路と複数の実習ボードの間に切替回路を用意し、制御回路から実習ボード切替制御信号を送ることにより複数ボードの同時利用の実現について検討している。

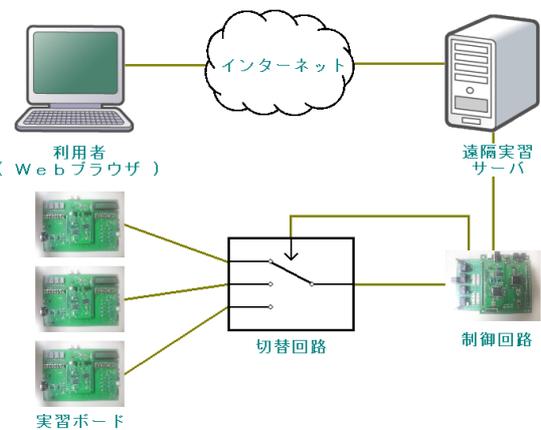


図 5.4.1 切替回路実装時の構成図

謝辞

本研究を進めるにあたり、熱心なご指導を賜りました千葉慎二先生、幾多の不具合や疑問を解決してくださった千葉俊光氏に心から感謝いたします。

参考文献

- [1] S. Chiba, T. Yonamine, M. Sasaki, K. Sugawara, A. Kanomata, "Design of a blended e-learning curriculum for embedded system engineering," in Proc. 8th IFAC Symposium on Advances in Control Education(2009)
- [2] 社会人キャリアアップ 組込みシステム技術者育成コース--仙台高専
<<http://lms.es.sendai-nct.ac.jp/ict/embedded/>>(2013/04/16 アクセス)
- [3] Takeyuki Kodama, Yudai Suzuki, Shinji Chiba, "Development of a Remote Practice System for Embedded System Education," in IEEE/ASME International Conference on MESA, China (2010).
- [4] カメレオン AVR / カメレオン AVR 指南 | 有限会社 エグゼキュートシステム
<<http://exec-system.com/avr>>(2013/04/16 アクセス)
- [5] GTKWave for Windows / Win32 Home
<<http://www.dspia.com/gtkwave.html>>(2013/04/16 アクセス)
- [6] ダウンロード | Microsoft Visual Studio 2012
<<http://www.microsoft.com/visualstudio/jpn/downloads#d-2010-express>>(2013/04/16 アクセス)