1J-7

# グループ学習可能な組込みシステム向け遠隔実習システムの開発

Development of a remote practice system for group learning in embedded system

赤井　建太†　　千葉　慎二‡

Kenta Akai†　　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．組込みシステムの開発においては, CPLD や FPGA 等によるハードウェア設計の知識やそれを制御するためのマイクロプロセッサ(MPU)のプログラム開発の知識のように，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”本校”と書く）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．

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等，PC 上でのシミュレーションで再現できない項目があるため，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．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に個人で用意することも難しく，自主学習を行うことが困難であった．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「遠隔実習システム」が本校の千葉研究室で開発され，その有効性が確認された[3].

しかしながら，これまでの遠隔実習システムでは 2 つの問題点も明らかとなっている．一つはグループ学習に対応ができないことである．従来の遠隔実習システムは個人が自宅などで自主学習を行えるようにするという目的のもとで構築されたため，実際の開発・学習現場で行われるグループでの作業を遠隔で行うことができない．問題点の二つ目は遠隔の実習ボードに対して詳細な動作確認を行うことができないという点である．動作確認手法の一つとしてネットワークカメラによる実習ボードの動画を用いている．この手法ではカメラのフレームレートや回線の遅延といった原因により，実習ボード上の細かな LED の点滅等を確認することができない．より詳細な動作確認手段として連続トグルスイッチ(以下 TSW と書く）制御機能を実装している．これは実習ボードに入力する TSW のパターンを記述したファイルを遠隔実習システムに送信することにより，連続的に実習ボードの TSW の入力を切り替えることができる機能である．連続 TSW 制御機能実行中は動作特性データ収集システムが作動する．これは実習ボードの TSW と LED の状態を監視し，変化があるとその時の TSW と LED の状態と時間を取得, この情報をもとに TSW と LED の波形ファイルを生成してユーザに提供する機能である．この連続 TSW 制御機能の入出力信号の時間分解能は 1[ms]程度であり，入力後，出力に反映されるまでのわずかな遅延などを検出することができない.

本研究ではこれら 2 つの問題を解決することを目的として遠隔実習システムの改良を試み，改良システムの機能検証を行った.

## 2. 研究内容

### 2.1 グループウェアへの改良

遠隔実習システムのグループウェア化については，従来の遠隔実習システムにはなかった，複数ログイン機能，グループでの実習ボードの予約（＆取り消し），グループメンバー間でのチャット機能を実現することで複数名での遠隔実習を実現した．本研究で改良した遠隔実習システムの構成図を図 1 に示す.

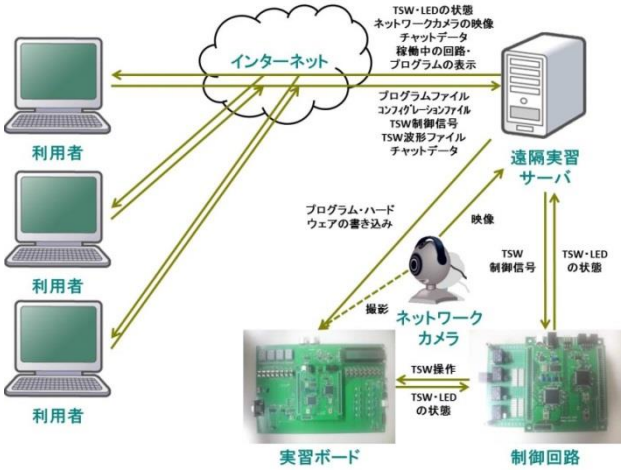


図１．遠隔実習システムの構成図

†仙台高等専門学校　情報電子システム工学専攻
‡仙台高等専門学校　ICT 先端開発センター



Copyright ©2014 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

### 2.2 動作確認時の入出力信号時間分解能の向上

詳細な動作確認を行うことができないという問題点については，連続 TSW 制御機能の入出力信号時間分解能の向上で解決を図った．

制御回路の MPU の処理を軽減することにより入力信号時間分解能を 1[ms]から 125[μs]に，CPLD に「連続 TSW 制御機能実行時間の計測」と「実習ボードの入出力の変化の検出」を行わせることにより出力信号時間分解能を 1[ms]から 31.25[ns]に上げることができた．またこれらの変更に伴いやり取りされるデータのフォーマットを変更することで適切にデータのやり取りを行えるようにした． MPU の変更前後の処理を図 2 に，CPLD の変更後の処理を図 3 に示す．

また連続 TSW 制御機能実行後に出力される波形ファイルをダウンロードできる機能を構築した．これにより連続 TSW 制御機能を実行したユーザとそのグループのメンバーが出力波形ファイルをダウンロードできるようになった．

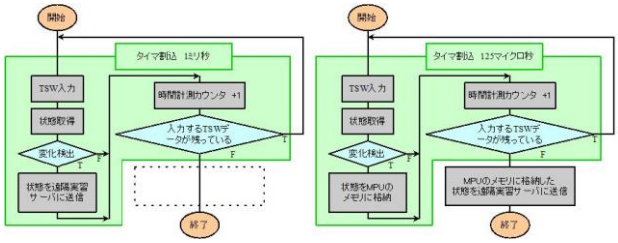


図２．制御回路 MPU の変更前(左)と後(右)の処理

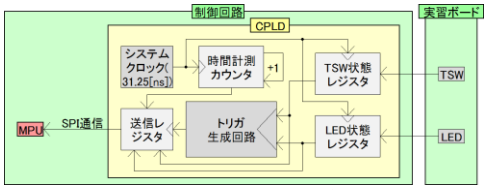


図３．制御回路 CPLD の変更後の処理

## 3. 動作検証結果

### 3.1 グループウェアへの改良

改良した遠隔実習システムにおいて、複数 PC からのログイン、実習ボードの予約と取り消し、複数人の間のチャットが正常に動作することを確認した。

### 3.2 動作確認時の入出力信号時間分解能の向上

連続 TSW 制御機能において、記述した TSW 入力パターン通りの入力が行われ、出力結果のファイルをダウンロードできることを確認した。また検出した TSW・LED の変化の情報について出力ファイルの内容を元に考察した。制御回路の MPU のタイマ割り込みの遅延や、制御回路の CPLD と実習ボードとの接続に用いているアナログスイッチの切り替えにかかる時間などにより 10[μs]オーダーでの遅延が発生するものの、ほぼ正しい時間で実習ボードの入出力の変化を検出できていることを確認した。

## 4. おわりに

### 4.1 まとめ

本研究では遠隔実習システムをグループウェアとしてのシステムに改良することができた．複数ログイン機能，実習ボードの予約と取り消し，グループメンバー間でのチャット機能について動作確認を行い，正常に動作することを確認した．

また連続 TSW 制御機能の入力信号時間分解能を 1[ms]から 125[μs]に，出力信号時間分解能を 1[ms]から 31.25[ns]に向上させることができた．10[μs]オーダーで遅延が発生するものの，ほぼ正しい時間で実習ボードの入出力の変化を検出できていることが確認できた．

### 4.2 今後の展望

チャット機能だけではコミュニケーション手段が十分とはいえないため，新たなコミュニケーション手段を追加する．考え中，作業中といった各ユーザの状況をアイコンでもってグループメンバーに表示し，意思疎通の補助を行う機能である表情アイコン機能を検討中である．また実習終了後に実習内容の振り返りができないため，チャット内容や連続 TSW 制御機能の出力ファイル等をまとめて自動的に議事録を作成する機能を追加する．これらの改良を行った後，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遠隔実習システムの実証実験を行う．

## 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/>(2014/01/06 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] 赤井建太，千葉俊光，千葉慎二：「組込みシステム遠隔実習のための動作特性データ収集システムの開発」，第 12 回情報科学技術フォーラム講演論文集，RK-006，(2013)



Copyright ©2014 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.