

平成21年 5月 1日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500794

研究課題名（和文） 組み込みシステム開発のための遠隔教育システムの開発

研究課題名（英文） Development of remote education system for embedded system

研究代表者

新村 正明（NIIIMURA MASAOKI）

信州大学・工学部・准教授

研究者番号：20345755

研究成果の概要：本研究は、組み込みシステム開発に関する講義・演習を、特に社会人に向けて展開するための、遠隔教育支援システムの開発を目的とするものである。組み込みシステムの適用分野の拡大から、社内の配置転換等による40～50歳代の組み込みシステム開発の初心者が大幅に増加している。本研究は、このような現場の技術者へのリカレント教育に主眼をおき、通学が困難な社会人のために遠隔教育システムの開発を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：遠隔教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、教育工学

キーワード：教育工学、電子デバイス・機器、ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

本研究は、組み込みシステム開発に関する講義・演習を、特に社会人に向けて展開するための、遠隔教育支援システムの開発を目的とするものである。

家電製品の高機能化に伴い、洗濯機や冷蔵庫等のいわゆる白物家電においても、製品の内部に組み込まれたマイクロコンピュータによる機器の制御が一般化している。このような機器類の制御を行うシステムは、組み込みシステムと呼ばれ、電化製品から携帯電話に至るまで幅広い製品に使用されている。

組み込みシステムの適用分野が拡大しつつあることから、その開発に従事する開発者の需要も増加しつつあり、2005年度の調査では約19万人が開発に従事しているのに加え、現在でも約9万人の組み込みシステム技術者が不足していると言われている。さらに、組み込みソフトウェアの開発業務に関わる期間が1年未満（いわゆる初心者）の年齢構成において、40歳以上の割合が昨年度から10%→30%（特に50歳以上の割合が0%→8%）と変化しており、社内の配置転換等により40～50歳代の組み込みシステム開発の初心者が大幅に増加している。（経済産

業省「2006年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書」).

以上から、社会人向けの組み込みシステム開発に関するリカレント教育が急務となっている。

2. 研究の目的

組み込みシステムではハードウェア制御が重点になることから、実際の機器を操作する演習が不可欠であり、教育を行う際には通学あるいはスクリーニングが必要となる。しかし、社会人、特に40～50歳代の組み込みシステム開発の初心者にとって、通学・スクリーニングは時間的制約が大きい。

しかし、最近の組み込みシステム開発においては、ハードウェア記述言語HDL(Hardware Definition Language)によるテキストベースでの設計となっており、プログラミング言語と同様な手法での教育が可能となっている。さらに、回路についても再構成可能な回路素子FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いることで、試行しながら回路製作を行うことが可能となっている。

そこで本研究は、HDLとFPGAを用い、組み込みシステムに関して特に現場の技術者へのリカレント教育に主眼をおいた、「組み込みシステムに関する、遠隔受講が可能なe-Learning教材の開発」「遠隔受講のための、遠隔操作が可能なハードウェア実習用教材の開発」を行う。

3. 研究の方法

本研究では、図1に示すように、遠隔地にいる受講生が、通学している学生と同等な環境で組み込みシステム開発に関する実習を受講できるようにするために、以下の機能を実現する。

- a) 遠隔地に存在する実習機器の動作確認
- b) 複数の受講生による実習機器の共有

a) については、実習機器監視装置との連携を行う機能を開発することで解決を図った。実習機器監視装置とは、本研究室で開発したイメージセンサにより実習機器の外観を監視する機能と実習機器内部の信号を監視す

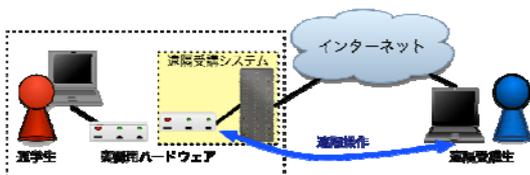


図1 システム構成図

る機能を有するハードウェアである。これにより、遠隔地に存在する実習機器に関しても7セグメントLEDの表示内容の変化等の実習機器の外観の変化を取得することが可能となる。また、同時に信号の監視も行うため外観の変化に伴う内部信号の変化も確認可能となる。

b) については、ネットワーク経由でFPGAへの設計データを適用する際の通信を制御し、実習機器監視装置が実習機器の監視を行っている間、機器を占有することで他の受講生による実習機器への設計データの適用を制限し、複数の受講生による実習機器の共有を実現する。

また、教育機関側に機器を設置するだけでなくHDLを作成するエディタや、HDLをFPGAの設計データに変換するハードウェアコンパイラ等により構成される統合開発環境も教育機関側で提供する。本研究で対象とする統合開発環境は、Xilinx社のISE等のTCP/IP通信経由で設計データを適用可能なツールである。さらに、統合開発環境を提供するサーバをインターネット上に設置し、受講生はそのサーバに対してVNC(Virtual Network Computing)を利用して接続する。これにより、受講生側のPC環境によっては統合開発環境の使用が困難な場合が存在する問題を解決することが出来る。また、教育機関側にとっても開発環境を統一する事が可能となり、教育を行う際にも各々の環境を考慮する必要がなく効率的な教育が可能となる。

(1) システムの構成

本システムは、

- ①インターネット、LANから接続可能で受講生が使用するHDL開発環境
- ②複数の受講生による実習機器の共有を実現する実習機器管理システム
- ③遠隔地から実習機器の動作を確認する実習機器監視装置
- ④実習機器監視システムが存在するHDL開発サーバ
- ⑤複数台のFPGAサーバとそれらに1台ずつ接続されたFPGAが搭載された実習用FPGAボード
- ⑥実習用FPGAボードの監視を行う実習機器監視装置

によって構成されている。

により構成される。

HDL開発サーバはインターネットから接続可能なグローバルIPアドレス、LANに接続可能なプライベートIPアドレスを1つずつ持ち、FPGAサーバ、実習機器監視装置もそれぞれ1つずつのプライベートIPアドレスを持つ。

システムの概要を図2に示す。

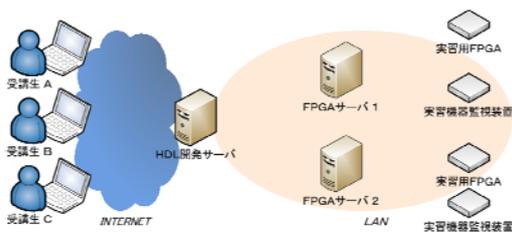


図2 実際のシステム構成

(2) システムの動作

本システムの動作は大きく分けて以下の3つの段階に分類される。

- ① ハードウェアの設計
- ② 実習機器への設計データの適用・占有
- ③ 実習機器の監視・動作確認

以下にそれぞれの状態の詳細な説明を示す。

①は、受講生がHDL開発サーバ上でハードウェアの設計を行う段階である。受講生がハードウェアの設計を行う場合には、VNCを用いてHDL開発サーバに対して接続を行い、サーバ上で提供されているハードウェア開発環境を用いてハードウェアの設計データを作成する。

②は、設計したハードウェアの設計データを実習機器に適用し、実習機器の占有を行う段階である。受講生がハードウェアに設計データを適用する際には、HDL開発サーバと実習機器間の通信を制御し、実習機器の占有処理を行う実習機器管理システムに対して設計データ適用時の通信を行う。通信を受信した実習機器管理システムは、その時点で使用可能なFPGAボードのうちの1台を選択する。その後、受信した通信と同様の通信を選択されたFPGAボードが接続されたFPGAサーバに転送する。

③は、実習機器の動作を監視して、受講生が動作状況を確認する段階である。設計データの適用が終了した後に、実習機器管理システムはFPGAサーバを介して実習機器管理装置に対して関しリクエストを行う。監視リクエストを受信した実習機器監視装置は、実習用FPGAの信号・外観の監視を行う。監視が終了した後に、実習機器監視装置からHDL開発サーバに対して監視データの送信を行い、受講生は受信した監視データを使ってWebインタフェース上で動作の確認を行う。

(3) 実習機器の動作確認手法

従来の実習機器の動作確認手法としては、次の2つが存在する。

- ① 外観変化の監視による動作確認
- ② 内部信号に監視による動作確認

①の手法は、LEDの点滅等の実習機器の外観の変化を確認することで動作確認を行うものである。LED等の外観の変化を伴う実習

が一般的である事を考えた場合に外観の変化を確認する事は非常に有用である。

②の手法は、内部信号の変化を確認する事で動作確認を行う。この手法は、動作結果が外観として表現される前段階の内部信号を監視することが可能である。そのため、外観の変化のみを確認した場合と比較し、設計したハードウェアが受講生の想定した動作を行わなかった場合のデバッグ作業が容易になる。

組み込みシステム開発の実習を行う際には、設計したハードウェアが、受講生の想定した動作を行わない状況が頻繁に発生することが考えられる。このような場合、大まかな動作確認を外観の変化を確認する事で行い、問題が発生している箇所に関しては内部信号の変化を確認し、デバッグ作業を行う手法が有用である。以上から、遠隔地に存在する機器を用いて実習を行う際には、外観・信号の監視を行う機能を両方備え、それらについて時間的な同期を取った上で動作を確認することが可能であることは非常に重要である。

本研究では、開発実習を行う際にはデバッグ作業が重要になると考え、①、②の機能を兼ね備えたシステムの開発を行う。

(4) 複数の受講生による実習機器の共有

複数の受講生による実習機器の共有を行う際には、1台のFPGAボードを1人の受講生が占有することで互いの実習結果に影響を及ぼさない環境を構築する必要がある。そのため、本研究では実習機器管理システムを開発することで実習機器の占有を可能にし、複数の受講生による実習機器の共有を実現する。本研究では、リアルタイムに実習機器を監視するのではなく、実習結果を実習機器監視装置内のメモリ上に蓄積した後に受講生が確認するという方式をとっている。そのため、受講生が実習機器へ設計データを適用し、動作結果を取得する期間が蓄積を行う実習機器監視装置内のメモリ容量から限定される。従って、本方式の場合には受講生が任意の期間占有を継続する方式とは異なり、占有を継続する期間を最小限に抑えて効率的に実習機器を使用することが可能である。

そこで、本研究では受講生が実習用FPGAに対して設計データを適用する際の通信をHDL開発サーバ上に存在する実習機器管理システムに対して行うことで、システム側で自動的に設計データの適用先の実習用FPGAボードを選択し、同時に実習機器監視システムが監視を完了するまで占有を行うシステムの開発を行う。

4. 研究成果

3. で説明した機能をもつ遠隔教育支援システムの開発を行い、その有効性を確認するための評価試験を行った。

この評価試験では、研究の目的で挙げた以下の2つの機能について、実験を行った。

- ① 実習機器の利用状況管理機能
- ② 実習機器の監視機能

①の実習機器の利用状況管理機能については、2台のFPGAサーバ、実習用FPGAボード、実習機器監視装置を設置し、3つのクライアントによる設計データの適用を行った。この際、先に2つのクライアントが2台の実習用FPGAボードを占有している状態で残りの1つのクライアントによる設計データの適用を行う実験を行った。

②の実習機器の監視機能については、実際に監視処理を行い、監視結果画面に表示される外観と信号の変化について検証を行った。また、監視対象となる実習用FPGAボードには、4つの7セグメントLEDが右から左へ順に点滅するダイナミック点灯動作を行う設計データを適用した。

実験結果は、①実習機器の利用状況管理機能については、2つのクライアントが2台の実習用FPGAボードを占有中に、3つめのクライアントが設計データの適用処理を行った結果、占有中のクライアントによる占有処理が終了するまで3つめのクライアントによる設計データの更新が行われないことを確認した。また、②の実習機器の監視機能については、図3に示すように、外観及び内部信号の双方の監視が可能であることが確認された。

さらに、遠隔学習者に適用する前に、通学している学生の授業に適用し、本システムの有効性を確認した。この授業では3人1組で構成される8グループが組み込みシステム開発を行うもので、1台の開発サーバに8グループが同時にアクセスし開発演習を行った。この授業への適用により問題点の抽出と改善を行うことができた。

なお、処理手順を図4に示す。

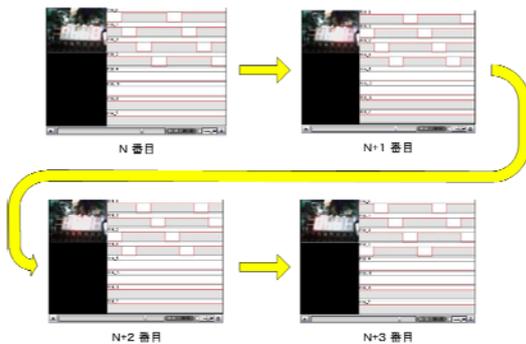


図3 監視画面

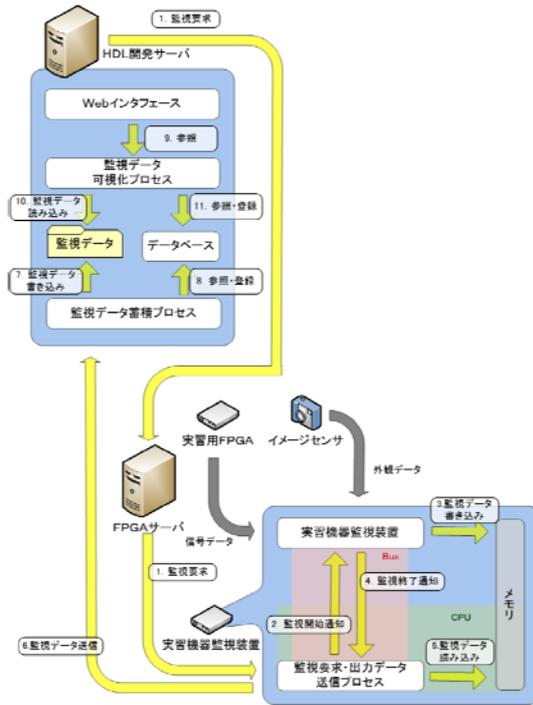


図4 本システムの処理手順

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)

[学会発表] (計 3件)

- ①田邊勇輝, 新村正明, 國宗永佳, 和崎克己, 不破泰, 遠隔地から利用可能なFPGA開発演習システムについて, 電子情報通信学会信越支部大会, 2007, 9, 29, 長野
- ②中村立人, 田邊勇輝, 新村正明, 國宗永佳, 不破泰, 組み込みシステム開発に関する遠隔実習のための実習機器監視装置の開発, 教育システム情報学会 2008年度第4回研究会, 2008, 11, 14, 和歌山
- ③田邊勇輝, 中村立人, 新村正明, 國宗永佳, 不破泰, 遠隔地から利用可能な組み込み開発実習システムについて, 教育システム情報学会学生・院生発表会, 2009, 3, 6, 名古屋

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新村 正明 (NIMURA MASAOKI)
信州大学・工学部・准教授
研究者番号: 20345755

(2) 研究分担者

國宗 永佳 (KUNIMUNE HISAYOSHI)
信州大学・工学部・助教
研究者番号: 90377648