

ソフトウェアとハードウェアとの連携による組込みシステムの 設計開発実習改善プロジェクト

情報電気電子工学科 代表者 久我 守弘
協力者 情報電気電子工学科 尼崎太樹, 木山真人
技術部 青木敏裕, 大村悦彰, 山口倫
情報電気電子工学科 4年生 眞下達

1. はじめに

情報電気電子工学科では、3年次の学生実験として「情報電気電子工学創造実験」（以下「創造実験」）を行っている。この実験は日本技術者教育認定機構（JABEE）が要求するエンジニアリング・デザイン教育[1]の充実化を図るため2012年度より実施してきた。

本稿では、2012および2013年度の実施状況を振り返ると共に、2014年度から新たに導入した実験機材を用いて実験内容の改善を行った結果について報告する。

2. これまでの経緯

情報電気電子工学科は情報・電気・電子の3分野を幅広く学べることを特徴としており、2009年度にはJABEEの審査を受け同機構が定めた認定基準を満たすプログラムであることが認められた。一方でJABEEが要求するエンジニアリング・デザイン教育[1]については改善が指摘されていた。エンジニアリング・デザイン教育の充実化を図るため、「創造実験」を新たに設け内容を検討するとともに2012年度より実施してきた。これまで、実験科目「情報電気電子工学実験第二」の一課題として「ハードウェア記述言語による回路設計」を実施していた。これは、「自動販売機」の論理回路設計を例題として、ハードウェア記述言語 Verilog HDL による FPGA (Field Programmable Gate Array) への回路設計・実装手法を習得することを重視していた。「創造実験」に向け本課題を改変しハードウェアとソフトウェアとが連携することで動作する組込みシステムの設計・開発を意識した課題とすることとした。特に、

- i) 学生が主体となり組込みシステムの開発過程を学べ、また、システム開発を通じてエンジニアリング・デザイン教育を行える Project Based Learning を実施できるようにする。
- ii) ハードウェア設計のみに終始するのではなく、設計したハードウェアをプロセッサ上のソフトウェアと連携させることにより、ハードウェアとソフトウェアとが連携して動作するシステムの開発について学習できるようにする。

ことを重視した。

「創造実験」の課題として、2012～13年度は引き続き「自動販売機」の開発をテーマとした[2]。プロセッサと FPGA からなる実験ボード[†]を用意し、その上でハードウェア（自動販売機ステートマシン）とソフトウェア（Graphical User Interface によるマン・マシンインタフェース）が連携して動作するシステムを開発させた。これにより、実装環境である実験ボードの制約はあるものの、班毎に自由な発想で自動販売機的设计・開発に取り組むことができた。開発対象を「自動販売機」に制限していたが、「切符販売機」や「ガソリン給油機」など班毎に様々な発想で自動販売機を設計し開発していた。学生のアンケートからはハードウェアとソフトウェアの連携を図るシステムの開発方法について理解できたなどの感想を得ている。

しかし、プロセッサ - FPGA 間の配線本数が限られた GPIO (General Purpose I/O) を経由しているなど実装環境上の制約が大きく設計の自由度に大きな影響を与えていた。また、これは一般的な組込みシステムの実装方法とはそぐわないことも問題であった。

3. 実験内容の改善

これまでの経緯を踏まえ、2014年度からより設計自由度が高い課題に変更した。以下その実施状況について述べる。[3]

3.1 概要

2014年度からは「ソフトウェアとハードウェアとの連携による組込みシステムの設計・開発」を課題とした。特に、ものづくりの開発プロセスの体験、エンジニアリング・デザイン、プログラミング言語 Java、GUI プログラミング、ハードウェア記述言語による回路設計、ソフトウェアとハードウェアとの連携について理解を深めることを目標としている。スマートフォンやタブレット等でなじみの深い Android OS を採用し、学生の自由な発想で Android アプリケーションの開発を行う。なお、ソフトウェアと何らかのハードウェアの連携を図ることは必須条件としている。

[†]アットマークテクノ社製 Armadillo-440 液晶モデルに Xilinx 社製 Spartan-3E XC3S250E を 16 本の GPIO で相互接続した実験ボードを使用した。

3.2 実装環境

新たに導入した実験ボードは図1に示す Avnet 社製 ZedBoard である。これは ARM 社製 Dual core Cortex-A9 と、130 万 ASIC ゲート相当の Xilinx 社製 Artix-7 FPGA を実装したプログラマブル SoC (System on a chip) である Xilinx 社製 Zynq XC7Z020 を使用している。ベースとなる Android システムは文献[4]を一部改変することで実現した。図2に示すように ARM プロセッサ上で Android ver. 4.1.2 が動作し、FPGA 内のハードウェアモジュールとは XillyBus IP core [5] によりメモリマップド I/O として接続し、バスインタフェースを簡略化することで容易にモジュール開発を行えるよう考慮している。ユーザアプリケーションからはあらかじめ用意している FPGA クラスと呼ぶ API (Application Program Interface) を用いて容易にハードウェアモジュールとのデータ授受ができる。なお、FPGA 設計環境として Xilinx ISE (Integrated Synthesis Environment)、Android アプリケーション開発ツールとして ADT (Android Developer Tools) を使用する。

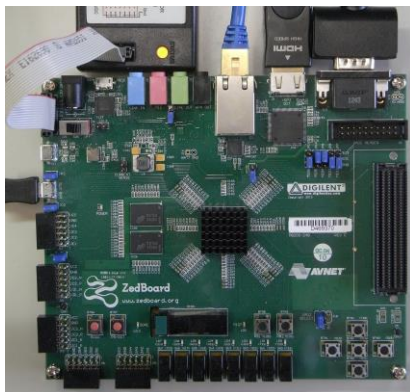


図1: Zedboard の外観

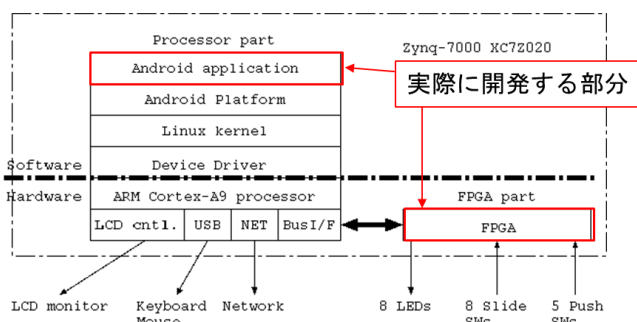


図2: システム階層

3.3 班構成および実施スケジュール

4~6名/班とし、実験時間としては週2コマ7週を確保している。しかし、実際にはこの時間だけでは不足しており、時間外での活動も必要である。まず、本

システム開発の基礎として開発プロセスの流れについて理解しておく必要がある。また、プログラミング言語として Java およびハードウェア記述言語として Verilog HDL を使用する。これらについては、2年次までの講義では教授していないため、Moodle 上の教材を用いた自習を必須条件として課している。また、開発する Android アプリケーションについても、要求仕様、外部仕様、内部仕様の段階まで事前に実験担当教員と3回程度のミーティングにより検討しておく必要がある。開発においてはソフトウェア開発担当者とハードウェア開発担当者に分かれるが、それぞれ開発ツールである ADT と ISE の使用方法についても自習により修得しておく必要がある。

実験時間内では、まず1週目に事前課題として検討した Android アプリケーションの仕様についてプレゼンテーションを行う。質疑応答の結果を踏まえ仕様の見直しを行いつつ、5週間かけて Android アプリケーションのコーディング・実装・デバッグ・動作検証を行う。最後の7週目に最終的に完成したアプリケーションのプレゼンテーションを行い、翌週グループレポートを提出する。なお、実施状況写真を付録に示す。

3.4 実施結果

2014年度に実験を終えた36班175名の実施状況は以下の通りであった。

作品: 実験ボード上で実現できる Android アプリケーションを、学生らの自由な発想で開発を行うことができた。表1に開発された Android アプリケーションの一覧を示す。アプリケーションの分類としては、

- ・データベース系アプリケーション: 15種類
- ・ゲーム系アプリケーション: 13種類
- ・その他: 8種類

であった。特によくできた作品としては、A08電子錠、B01シューティングゲーム、B03タイピング練習、B04フォトタッチが挙げられる。

実装されたハードウェアユニットとしては、B04フォトタッチアプリにおける画像フィルタのための演算器実装、および、B13オセロゲームにおける盤面処理ハードウェアの実装が、比較的難易度が高い。しかし、あらかじめ設計サンプルとして提供している、スイッチ入力回路およびLED出力回路の他には、擬似乱数発生回路、カウンタ、タイマーなど比較的設計が容易なハードウェアユニットしか実装されていない。これは、ソフトウェアによる処理の自由度が高く、ほとんどの処理をハードウェアでなくても実装可能であるため、ハードウェアユニットとしてどのようなものを実装すればよいかについてアイデアがあまり出なかったためのものである。これについては、来年度の実験実施に向けた指導方法を考慮する必要がある。

表 1：開発アプリケーション一覧

班	アプリケーション概要	ハードウェアユニット
A01	スケジュール管理アプリ	スイッチ, LED 制御
A02	ブッキングアプリ	参加人数の計算 (加算)
A03	バレーボール分析アプリ	LED 制御
A04	時間割情報共有アプリ	LED 制御
A05	点字翻訳システム	スイッチ
A06	野球おすすめオーダー生成	スイッチ, LED 制御
A07	自炊サポート用 食材管理	乱数, LED 制御
A08	電子錠 (ノックキー)	スイッチ入力, パタン認識
A09	神経スイジャQ	乱数, スイッチ
A10	電気主任技術者3種対策	LED 制御
A11	マス取りボードゲーム	乱数
A12	リフティングゲーム	ボール速度, 位置計算
A13	防衛ゲーム	乱数, スイッチ
A14	日課表作成管理システム	スイッチ
A15	回避ゲーム	乱数, スイッチ
A16	キッチンタイマ付きレシピ	LED 制御
A17	駐輪場管理システム	精算処理
A18	家計簿アプリ	料金の計算
A19	コーディネートアプリ	乱数
A20	健康管理アプリ	乱数, スイッチ
B01	シューティングゲーム	スイッチ, タイマー
B02	クイズアプリ	スイッチ, LED, タイマー
B03	タイピング練習アプリ	乱数, タイマー
B04	顔検出フォトレタッチ	画像フィルタ
B05	駐輪場管理	スイッチ, LED, タイマー
B06	テトリス	スイッチ, LED, カウンタ
B07	ライツアウト (パズル)	乱数
B08	神経衰弱	乱数, スイッチ, LED, 記憶
B09	洗濯支援	乱数, LED 制御
B10	回避ゲーム	スイッチ, LED, カウンタ
B11	宝探しゲーム	乱数, スイッチ入力
B12	地図アプリ	距離計算 (三平方の定理)
B13	オセロ	合法手列挙, 次場面作成
B14	回避ゲーム	乱数, スイッチ, カウンタ
B15	食品在庫管理アプリ	カレンダー (時計)
B16	小学生向けお手伝い管理	乱数, スイッチ入力

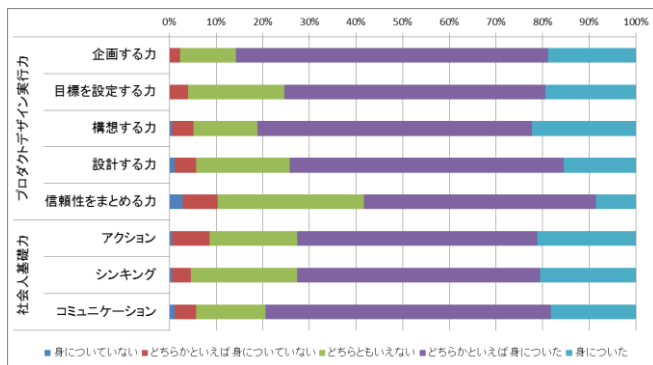


図 3：事後アンケート結果

学生アンケート結果：実験後に事後アンケートを取った結果について図 3 に示す。実験の目標であるエンジニアリング・デザイン力および社会人基礎力[6]の涵養に関しては、約 80%の学生が「身についた」、

かというと身についた」との肯定的回答が得られた。なお、「信頼性をまとめる力」については、誤りのない（信頼性の高い）システムを開発することができたかを尋ねているが、若干理解できていない面が見られており、今後の指導について考慮する必要がある。

自由記述のコメントとしては、「有意義であった」、「面白かった」、「良い経験になった」等のコメントが多く得られた。一方で「実験時間が短い」、「難易度が高すぎる」という意見もあり、負荷の軽減を考慮した実施方法の改善も検討する必要があるかもしれない。また、「組込みシステムの起動が不安定」という実験環境の問題も指摘されており、その対応が必要とされる。

5. おわりに

以上、本稿ではエンジニアリング・デザイン教育として導入した「情報電気電子工学創造実験」について、これまでの経緯を述べると共に、2014 年度から導入した新課題の実施結果について報告した。本年度の結果を踏まえ、来年度以降の実施に役立てていきたいと考えている。

謝辞

本年度の実験改善を行うにあたり、実験機材の購入費を補助して頂いた本学工学部付属革新ものづくり教育センターに感謝します。

参考文献

- [1] 大中逸雄：“JABEE におけるエンジニアリング・デザイン教育への対応 基本方針,” http://www.jabee.org/news_archive/news2009/20090318-2/2356/ (2009.2.7).
- [2] 久我守弘, 松田敏郎：“情報電気電子工学科におけるものづくりを意識した学生実験・実習への取り組み,” 平成 26 年度工学教育研究講演会講演論文集 2A12, pp.156-157 (2014).
- [3] 久我守弘, 眞下達, 青木敏裕, 大村悦彰, 山口倫, 木山 真人, 尼崎 太樹：“ソフトウェアとハードウェアの連携を意識した組込みシステム設計・開発実験の一事例,” 組込みシステムシンポジウム 2014 論文集, pp.157-158 (2014).
- [4] 眞下達, 久我守弘, 尼崎太樹, 飯田全広, 末吉敏則：“Zyndroid: Android アプリケーションの HW/SW 協調実行プラットフォーム,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.114, no.75, pp.49-54 (2014).
- [5] XillyBus IP core, <http://www.xillybus.com/doc> (2014).
- [6] 経済産業省：社会人基礎力, <http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/> (2014).

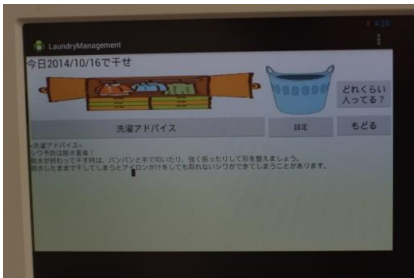
付録 実験の実施状況

(1) Android 仮想デバイス上でのデバッグ



B11 回避ゲーム (パックマンタイプ)

(2) 実験ボード上での動作確認状況



B09 洗濯支援アプリ



B07 パズル (ライツアウト)

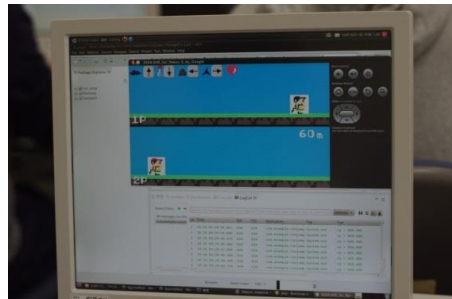
(3) 最終プレゼンテーション



B04 フォトレタッチ



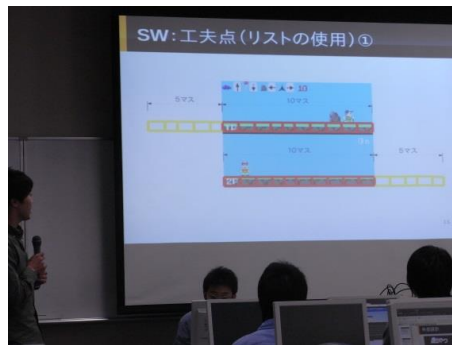
ハードウェアユニット動作検証説明



Android 仮想デバイス上でのデバッグ



実験ボード上での動作確認状況



最終プレゼンテーション

B10 回避ゲーム (パックマンタイプ)