

# ソフトウェアとハードウェアの連携を意識した 組み込みシステム設計・開発実験の一事例

久我 守弘<sup>1,a)</sup> 眞下 達<sup>1</sup> 青木 敏裕<sup>1</sup> 大村 悦彰<sup>1</sup> 山口 倫<sup>1</sup> 木山 真人<sup>1</sup> 尼崎 太樹<sup>1</sup>

**概要:** 熊本大学工学部情報電気電子工学科では、プロセッサと FPGA を組み合わせた実験ボードを使用し、ハードウェアとソフトウェアが連携する Android アプリケーションの設計・開発を通じて、組み込みシステムの設計・開発に関する技術を習得する Project Based Learning を行っている。本稿では本実習の実施事例について紹介する。

**キーワード:** PBL, 組み込みシステム設計, ソフトウェア・ハードウェア設計技術

## Experiment of Design and Development for Embedded System with Software/Hardware Cooperation

KUGA MORIHIRO<sup>1,a)</sup> MASHIMO SUSUMU<sup>1</sup> AOKI TOSHIHIRO<sup>1</sup> OHMURA NOBUAKI<sup>1</sup>  
YAMAGUCHI SATOSHI<sup>1</sup> KIYAMA MASATO<sup>1</sup> AMAGASAKI MOTOKI<sup>1</sup>

**Abstract:** We have been holding “Creative Design and Experiment” for two years as Project Based Learning (PBL) in our Department. In this experiment, students design Android applications on an experimental board that combines a processor and an FPGA. And they learn the method for the design and development of embedded systems. This paper presents a feasibility study of this experiment.

**Keywords:** Project Based Learning, Embedded system design, Hardware/Software Design

### 1. はじめに

熊本大学工学部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年度には日本技術者教育認定機構(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、実験科目「情報電気電子工学創造実験」(以下「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。

### 2. これまでの経緯 [2]

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 Verilog HDL による FPGA 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み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み込みシステムの開発過程を学べるような PBL を実施できるようにする、ii) ハードウェア設計だけでなく、ソフトウェアとの連携についても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」の開発とした。プロセッサ+FPGA からなる実験ボード<sup>\*1</sup>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(GUIによるマン・マシンインタフェース)が連携するシステムを開発させるようにした。これにより、実装す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の設計・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

<sup>1</sup> 熊本大学  
2-39-1 Kurokami, Chuo, Kumamoto 860-8555, Japan  
<sup>a)</sup> kuga@cs.kumamoto-u.ac.jp

<sup>\*1</sup> 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。

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 間の配線が GPIO を経由しているなど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とは合わないことも問題であった。

### 3. 組込みシステム設計・開発演習

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。

#### 3.1 概要

2014 年度からは「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。学生の自由な発想で Android アプリケーションの開発を行うが、ソフトウェアとハードウェアの連携を図ることは必須条件としている。

#### 3.2 実装環境

実験ボードは Avnet 社製 ZedBoard を用いた。これは ARM Cortex-A9 と、130 万 ASIC ゲート相当の Artix-7 FPGA を実装した Xilinx 社製 Zynq SoC XC7Z020 を使用している。ベースとなる Android システムは文献 [3] を一部改変することで実現した。図 1 に示すように ARM 上で Android ver. 4.1.2 が動作し、FPGA 内の I/O とは XillyBus IP core[4] によりメモリマップド I/O として接続されている。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 を用いて容易に I/O とのデータ授受ができる。また、ハードウェア部開発においてもバス I/F を簡略化することで容易に IP 開発を行えるよう考慮している。なお、FPGA 設計環境として Xilinx ISE 14.7、Android アプリケーション開発ツールとして Android Developer Tools (ADT) を使用する。

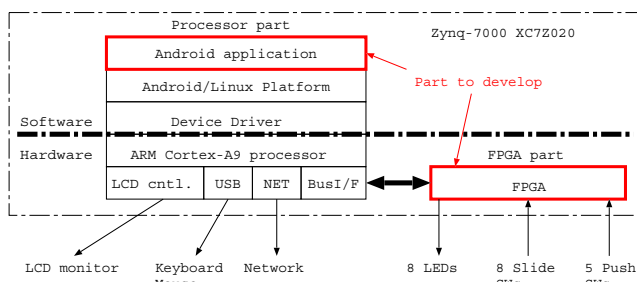


図 1 ZedBoard での SW/HW 階層

#### 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 コマで 7 週を確保している。しかし、この時間だけでは不足であり、Java および Verilog HDL の習得については Moodle を用いた自習を課している。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検討しておく。開発で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事前に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うとともに、翌週グループレポートを提出する。

#### 3.4 実施結果

2014 年度前期に終了した 14 班 60 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っていた。特によくできた作品としては、画像処理・タイピング練習・ゲーム・自動販売機等があった。

学生アンケート結果：エンジニアリング・デザイン力、社会人基礎力 [5] に関しては約 80% の学生が「身についた・どちらかという身についた」との肯定的回答が得られ、「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」という意見も多く、実施方法の改善も検討する必要がある。

### 4. おわりに

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」について報告した。本報告が同様の設計・開発演習を行う上での一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- [1] 大中：“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/](http://www.jabee.org/news_archive/news2009/20090318-2/2356/) (2009.2.7).
- [2] 久我, 松田：“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] 眞下, 久我, 尼崎, 飯田, 末吉：“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,” 信学技報, vol.114, no.75, pp.49-54 (2014).
- [4] XillyBus IP core, <http://www.xillybus.com/doc/> (2014).
- [5] 経済産業省：社会人基礎力, <http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/> (2014).