

## システム指向型情報工学実験における計算機アーキテクチャ教育

4L-1

松田 孝史      松岡 孝      加藤 亮      岩根 雅彦  
九州工業大学 工学部

## 1 はじめに

近年,FPGA を用いた教育向けマイクロプロセッサを中核とする計算機工学カリキュラムが注目されており,いくつかの事例が報告されている [1][2][3]. これに対し,システム指向型情報工学実験では1つの最終的な達成目標を定め,これを実現するのに必要な様々な技術的段階を体系的に実験・演習する. これまでの計算機工学カリキュラムと同様にシステム指向型実験においても共通の計算機アーキテクチャを採用することで全体の見通しを良くすることができるが,達成目標として自律型ロボット制御を取り上げた場合,共通アーキテクチャとしては商用の8ビットマイクロプロセッサが適している. マイクロプロセッサ実験ではFPGAを用いて上記マイクロプロセッサのサブセットを実装する.

本報告ではシステム指向型情報工学実験の概要および実験用マイクロプロセッサの実装について述べる.

## 2 システム指向型情報工学実験

現在,システム指向型実験の趣旨に基づき,新情報工学実験カリキュラムを構築している. 自律型ロボット制御に必要な技術的段階を大きくハードウェア・ソフトウェアの基礎(基礎),マイクロプロセッサの動作原理(MPU),オペレーティングシステム(OS),デジタル信号処理(DSP)の4つに分け,実験IからIIIおよび演習Iに割り当てる. これらの実験を経た後,実験IVで自律型ロボット制御を行う. 各実験・演習はそれぞれ個別に完結したテーマ

を持っているが,それぞれが最終目的を実現するためのステップとなっている(図1).

各実験・演習の主な内容および実施年次は以下の通りである.

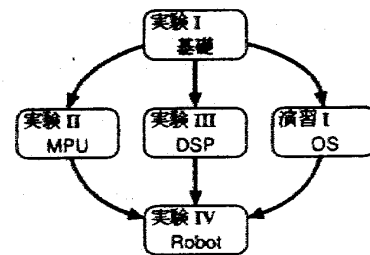


図1 実験・演習間のつながり

実験I(2年次前期)では実験・演習の基礎知識として,実験における機器の操作および実験結果の報告書作成,電気回路と論理回路の基礎,アセンブリ言語の基礎などを習得させる.

実験II(2年次後期)はMPUをFPGAを用いて作成し,MPUの動作原理の理解を深めることを目的とする.

実験III(3年次前期)ではデジタル信号処理の基礎的手法とその一応用分野に関して,ソフトウェア,ハードウェアの両側面を通じて理解を深める. 応用分野としては音声認識を取り上げ,基本的なパターン認識手法も習得する.

情報工学演習I(3年次前期)はソフトウェア全般にわたり,すでに講義で学習したことの理解を深め,かつ具体的な技術を身につけることを目的とする. 演習の一部として,シミュレータを用いて簡単なオペレーティングシステムを作成する.

実験IV(3年次後期)ではマウスロボットおよびそれを制御するソフトウェアを作成することで,これまでに習得したハードウェア・ソフトウェアの知識およびそれらの設計技術を再認識させるとともに,プロジェクト遂行実習によってシステム計画,設計と運用方法を習得させる.

### 3 計算機アーキテクチャ

新情報工学実験 II の教材として FPGA を用いた MPU の開発を行っている。これまでの教育向け MPU がシンプルな独自アーキテクチャを採用していたのに対し、新情報工学実験では自律型ロボット制御などで共通に使うため、実験装置やソフトウェア、文献などの入手の容易さから一般に広く使用されている市販のマイクロプロセッサが望ましい。実験 II は実施する年次が低いため、これまでに学んだ論理回路の知識により市販のプロセッサと同程度のマイクロプロセッサが作成できることを体験し、プロセッサの動作原理を理解することを主眼におく。学生には実験 I で扱ったデータ転送命令、算術演算命令、分岐命令のそれぞれから一部の命令を選択して実装させる。プロセッサ全体を設計するのは困難であるため、プロセッサのほとんどはあらかじめ作成しておく。学生は命令シーケンスの一部を穴埋め的に設計する。FPGA の容量などを考慮して市販の 8 ビットマイクロプロセッサのサブセットを作成することとした。命令は使用頻度の高いもののみを実装する一方、バスサイクルは互換とする。FPGA はドータボード上に実装し、市販プロセッサ用マザーボード上のプロセッサソケットに接続する(図 2)。学生は自ら作ったプロセッサが市販のボード上で動作することを確認できる。

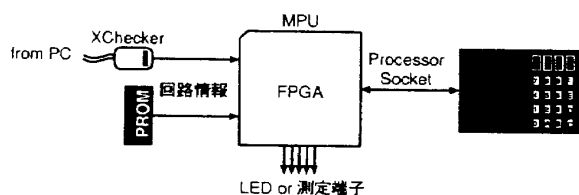


図 2 MPU の実装方法

MPU の内部構造を図 3 に示す。

MPU を大きく分けてコントロールロジック、バスインターフェースロジック、データバスロジックの 3 つから構成する。命令フェッチ、メモリアドレス/ライトなどの要求をコントロールロジックから受け取るとバスインターフェースロジックは所定のバスサイクルを生成する。バスサイクルの進行状況はバスインターフェースロジックが出力する状態信号により知ることができる。複雑なバスサイクルの生成はバスインターフェースロジックが行うため、他のロジックからは市販プロセッサの採用に伴う複雑

さは隠蔽される。

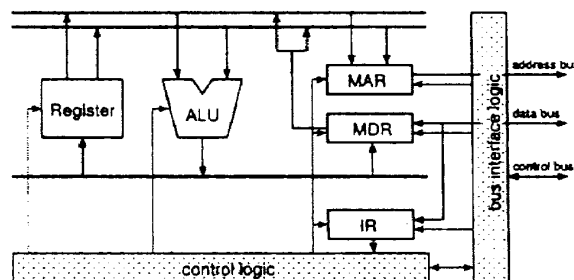


図 3 MPU の内部構造

学生に実装させる命令を自由に選択できるようにするため、命令は演算命令・転送命令など機能毎に分類しそれぞれ異なるモジュールとして実装する。おのおのの命令は個別のシーケンスを持っており回路図エディタで比較的容易に変更・削除できる。同様に ALU も機能毎にモジュール化する。FPGA には Xilinx 社製の SRAM ベースの LCA を使用し、FPGA の構成データの作成にはパーソナルコンピュータ上の回路図エディタおよび自動配置配線ツールを用いる。

### 4 おわりに

応用アプリケーションを中心とするシステム指向型情報工学実験の概要とその一部となる FPGA による教育用マイクロプロセッサの実装方法について述べた。現在マイクロプロセッサの実装については論理設計がほぼ完了し回路図エディタによる入力を進めている段階である。

新カリキュラムによる情報工学実験は来年度から開始される。今後は新カリキュラムの教育効果などについて検証してゆく。

### 参考文献

- [1] 末吉敏則: “教育への FPGA 応用例”, 情報処理, Vol.35, No.6, pp.519-529, 1994.
- [2] 西村, 工藤, 天野: “教育用 16 ビットマイクロプロセッサ PICO-16”, 第 3 回 FPGA/PLD Design Conference and Exhibit, pp.589-596, (Jun. 1995).
- [3] Hiroyuki OCHI: “ASAv1.1 : An FPGA-Based Education Board for Computer Architecture/System Design”, Proc. of Asia and South Pacific Design Automation Conference 1997 (ASP-DAC'97), pp.157-165, (Jan. 1997).