

複数のアーキテクチャを持つ 計算機工学教育用マイクロプロセッサ

2 F - 5

李 若岩 安浦 寛人 富山 宏之
九州大学 大学院システム情報科学研究科 情報工学専攻

1 はじめに

計算機を始めとする情報処理機器の普及に伴い、初等教育から高等教育までの種々の教育レベルでの計算機工学教育の重要性が高まっている。特に、計算機の基本的な構造を理解させる教育は、情報科学の基礎技術に対する正しい認識を教育する意味において極めて重要である。

現在、初等教育から大学までの教育課程で行われている計算機工学教育は、ソフトウェアからハードウェアまでの計算機システム全体の構造と動作原理を理解させるという観点からは必ずしも十分なものとはいえない。また、計算機工学教育に関する実験環境は現在の産業界の技術水準には程遠い教材を用いており、計算機に関する実践的かつ実務的なレベルの知識を得ることができるかは疑問が残る。

本稿では教育用マイクロプロセッサの開発目的を再検討し、新しい計算機工学教育用マイクロプロセッサの開発について述べる。

2 計算機工学教育用マイクロプロセッサの開発目的

計算機工学教育カリキュラムは教育対象によって以下4つに分類できる。

- 計算機の基本原理を理解させる入門教育。
- 計算機を副専攻とする教育。
- ソフトウェア設計者を育成する教育。
- ハードウェア設計者を育成する教育。

本論文では、これらすべての教育対象に対応できる教育用マイクロプロセッサの開発を目指とする。

- 広範囲の教育対象者に対して、入門教育から上級教育まで教材として利用できること。
- 現在の技術水準 (RISC, パイプライン処理, 割り込み) を反映させること。
- マイクロプロセッサの原理および内部動作を理解し易い構造を持ち、観測性／制御性が良いこと。

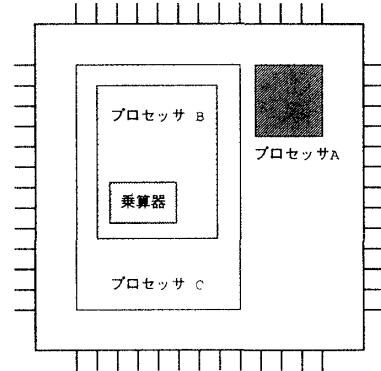


図 1: 教育用マイクロプロセッサ構成

3 新しい教育用マイクロプロセッサの設計

3.1 基本構成

新しい教育用マイクロプロセッサの特長は異なる三つのマイクロプロセッサ (A, B, C と呼ぶ) が搭載されていることである。

プロセッサ A は計算機の基本構造と機能を学習するのに最低限な命令セットを持つ簡単なアーキテクチャのプロセッサである。プロセッサ B は RISC アーキテクチャに基づき、プロセッサ A の命令セットに加え、乗算など複雑な演算を含む命令セットを持ち、割込み機能備えている。プロセッサ C はプロセッサ B のパイプライン処理版である。制御端子でプロセッサの選択ができる。以下マイクロプロセッサの仕様の概略を述べる。

3つのマイクロプロセッサの基本語長は 16 ビットとする。メモリ空間はデータ領域とプログラム領域を設け、それぞれ 64K ワード用意する。I/O 空間を 256 ワード用意する。内部の各レジスタなどに対する観測機能をもつ。

プロセッサ A はアキュムレータ方式を採用する。レジスタは 7 本である。演算用のレジスタとして、アキュムレータとインデックスレジスタを持つ。制御系はプログラムカウンタ、命令レジスタを持っている。また、アドレスを保持するメモリアドレスレジスタ、スタック・ポインタとフラグレジスタがある。命令は可変長で 1 語長命令と 2 語長命令がある。図 2 に命令セットを示す。データ転送命令 2 種類、演算命令 8 種類、システム制御命令 2 種類、入出力命令 2 種類、スタック命令 2 種

"An Education-Purpose Microprocessor Chip with Multiple Architectures for Computer Science Courses,"

Ruoyan Li Hiroto Yasuura Hiroyuki Tomiyama
Graduate School of Information Science and Electrical
Engineering, Kyushu University

データ転送命令	LD	LoaD	算術演算命令	ADD	ADD
	ST	STore		SUB	SUBstract
	CALL	subroutine CALL		INC	INCREMENT
	RET	ReTurn from subroutine		DEC	DECREMENT
	JP	JumP always		OR	OR
分歧命令	JPC	JumP on Carry		EXOR	Exclusive OR
	JPZ	JumP on Zero		AND	AND
	JPS	JumP on Sign		NOT	NOT
	JPV	JumP on overflow	シフト命令	LSL	Logical Shift Left
スタック命令	PUSH	PUSH Acc		ASL	Arithmetic Shift Left
	POP	POP Acc		LSR	Logical Shift Right
システム制御命令	NOP	No OPeration		ASR	Arithmetic Shift Right
	HALT	HALT		ROL	ROtate Left
入出力命令	IN	INput		ROR	ROtate Right
	OUT	OUTput		SWAP	byte SWAP

図 2: プロセッサ A の命令セット

算術演算命令	17	0
ADD R1, R2, R3	命令コード	R1 R2 R3
	6	4 4 4
データ転送命令	17	0
LDH R1, #Imm	命令コード	R1 #Imm
	6	4 8

図 3: プロセッサ B と C の命令構成

類、シフト命令 7 種類と分歧命令 7 種類の計 30 種類からなる。

プロセッサ B と C は汎用レジスタ方式を採用し、16 本の汎用レジスタを持つ。命令は固定長で 18 ビットである。命令の上位 6 ビットで命令の種類を表し、下位 12 ビットでレジスタの指定、分歧条件、アドレス、または、即値データを指定する。図 3 にプロセッサ B と C の命令構成の例を示す。

18 ビットの固定命令長を採用する理由は以下の通りである。16 ビットの固定長にすると、命令長が短かすぎるため命令体系が複雑になり、命令セット・アーキテクチャの理解や設計、ならびに、コンパイラの設計が困難となる。しかし、長くすると I/O ピンの制約が厳しくなる。一方、可変命令長にするとパイプライン設計が複雑となる欠点がある。本プロセッサでは、命令体系をシンプルに保つことができる最小の固定命令長が 18 ビットである。

プロセッサ B と C は割込み機能を持ち、割込みレベルが 1 レベルのペクタ方式とする。また、プロセッサ C のみがパイプライン処理機能を持つ。

3 つのプロセッサともに観測機能により、ソフトウェアの介在なしでのプロセッサの内部動作の観測が可能になる。観測機能は以下の 4 つからなる。

- すべてのユーザ可視のレジスタを観測用バスを通して読み出す。観測用バスはピン数を最小限にするために、シリアル方式を採用する。すべてのレジスタには書き込みも可能である。
- 外部からの Start/Stop スイッチ信号によりプロセッサを動作/停止させる(動作/停止機能)。
- 停止状態から Step 信号により 1 サイクルの命令実行後、停止状態に戻る(シングル・ステップ機能)。
- 割込み発生時に通常の割込み処理を行う代わりに、停止状態に遷移する(割込み観測機能)。割込み関係の観測を行うことができる。

3.2 本方式の利点

従来の教育用マイクロプロセッサと異なり、一つのチップ上に簡単なアーキテクチャから複雑なアーキテクチャまで三つのマイクロプロセッサを含み、入門教育から上級教育までの教材として使用できる。このため、教育用マイクロプロセッサシステムとして適用される範囲が広がり、コスト的に有利になる。さらに、マイクロプロセッサのアーキテクチャの違いによる性能差を調べて、計算機アーキテクチャの発展の経緯を学ぶことができる。従って、計算機アーキテクチャ教育に非常に効果があると思われる。

4 おわりに

今後、本プロセッサの設計試作と並行して新しい教育用マイクロプロセッサを用いるカリキュラム案と搭載した教育ボードの設計を進めていきたい、実際の教育現場で利用できる教材を目指したい。

参考文献

- [1] 岩井原, 中村, 國貞, 斎藤, 中川, 永浦, 山家, 山田, 赤星, 権, 村上, 安浦, “計算機工学一貫教育用マイクロプロセッサ QP-DLX の開発,”電子情報通信学会技術報告, VLD 93-86, 1993 年 12 月。
- [2] 越知, 澤田, 岡田, 上嶋, 神原, 濱口, 安浦, “計算機工学・集積化路工学教育用マイクロプロセッサ KUE-CHIP2,”情報処理学会研究報告, 92-ARC-96-14, 1992 年 10 月。
- [3] 神原, 越智, 澤田, 浜口, 岡田, 上嶋, 安浦, “KUE-CHIP2 設計ドキュメント Version 1.10,”1993 年 1 月。
- [4] 末吉, 田中, 久我, “教育用マイクロプロセッサ KITE による設計教育の事例報告,”情報処理学会研究報告, 93-ARC-103-12, 93-DA-69-12, 1993 年。
- [5] 榎木, CMOS 集積回路, 培風館, 1996 年。
- [6] 富沢, 松山(監訳), CMOS LSI 設計の原理, 丸善株式会社, 1988 年。
- [7] 池田(編), 情報工学実験, オーム社, 1993 年。
- [8] 萩原(編), 情報工学 ハードウェア実験, オーム社, 1983 年。
- [9] 坂井他(編), 情報工学の教育・研究, 共立出版, 1980 年。