

COMET 互換プロセッサによる CPU 設計演習環境の開発

2H-2

片山 博誠 石川 知雄
武蔵工業大学 情報通信研究室

1 はじめに

コンピュータ教育におけるハードウェア分野演習の充実を目的に、以前より COMET 互換プロセッサによる CPU 設計演習について提案が成されてきた [1].

この提案では、学部生を対象とし、VHDL(VHSIC Hardware Description Language) や FPGA(Field Programmable Gate Array) による VLSI プロセッサ設計技法の習得とプロセッサの動作理解を演習の目的としている。

本研究では提案された演習に合わせて COMET 互換プロセッサの開発を進め、提案の実現を目指す。

2 提案されてきた演習の概要

この提案では、以下のような 3 つの段階に分けて演習を行う方針をとっている。

- 第一段階(論理回路設計演習)
この段階では、基本的な VHDL の記述や FPGA 実装まで論理合成、配置配線ツールの利用方法の習得を目的に、演習者に論理回路課題を課し、目的の機能を完成させる事で実装までを体験してもらう。
- 第二段階(ワンボードマイコン動作理解)
この段階では、演習者に CASL プログラムに関する演習課題を課し、プロセッサやプロセッサを動作させるワンボードマイコンに触れることで、各デバイスやその他必要となるサポートソフトウェアの使用法の理解を深め、次段階への準備を行う。
- 第三段階(プロセッサの設計)
この段階は、演習者に教員側で用意した雛型となる COMET の VHDL ソースを手渡し、この COMET に新しい命令の追加や、冗長な制御部の再構築による高速化などの設計課題を課すことで、プロセッサ自身について動作理解を深めると共に設計技法を習得する。

3 プロセッサについて

この演習上で利用する COMET 互換プロセッサについて VHDL を用いて設計を行った。以下で設計したプロセッサについて述べていく。

3.1 COMET について

COMET とは、情報処理技術者試験の中で採用されている仮想の CISC プロセッサであり、以下のような基本仕様となっている。

- 命令長 32 ビット固定長
- 16 ビット CISC プロセッサ
- 基本命令 23 種類、拡張命令 9 種類
- 汎用レジスタ 5 本

雛型となる COMET 互換プロセッサでは、この基本仕様を採用することにした。

3.2 プロセッサ設計要求とその対応

上で述べた COMET の基本仕様以外にもプロセッサ設計を行う上で、

- CASL プログラムの実行、メモリ参照などによる動作状況確認の実現
- 演習者の命令・制御変更における改良度の評価
- FPGA 使用率の削減

といった設計上の要求があり、以下のような形で解決を計った。

- 2 本の割り込み線の用意
ハードウェア割り込み線を用意し、ワンボードマイコン上に設置したキーボード上から割り込みを介して CASL プログラム実行やメモリ参照を可能とした。
- タイマの設置
改良度の評価のため、時間あるいはクロック数をカウントする機能が必要となるため、タイマの設置によりこれを可能とした。
これは、演習者にプロセッサ改良前と改良後で同じ動作をする 2 つのテストプログラムを用意してもらい、その各プログラムをタイマにかけ

てカウントを行う。もし改良前より改良後の方がカウント数が増加していたら、余計にクロックを使用してしまうので改良は失敗となり、逆に減少していたら、改良が成功したということがわかり、改良度を実証できる。

● FPGA 使用率の削減と拡張性

演習者が大掛かりなプロセッサの変更を行う際にも、改良が行えるだけの余地が FPGA に必要となるため、雛型となるプロセッサでは FPGA 使用率を極力抑えておく必要がある。

このため、各命令の高速化を行う機能は省き、最低限の機能でプロセッサの実現を計っている。これについては次節で説明する。

3.3 雛型プロセッサの拡張性

雛型となるプロセッサでは、演習者が命令の追加や制御部の改良を行えるだけの余地がなくてはならない。そのため、以下のことについて、設計上で留意した。

- 命令追加における命令コードの余地
- ALU 機能追加の余地
- 高速化機能の省略
- 長サイクル命令への対応

これらについて以下で説明する。

● 命令コードの余地

COMET 互換プロセッサの命令数は、基本命令 23、拡張命令 9、タイマ用命令 2 の合わせて 34 である。つまり、5 ビットあれば指定を十分に行えるが、課題での命令追加や命令長の関係から命令コードはメイン 4 ビット、サブ 4 ビットの計 8 ビット用意した。よって最大 256 種類の命令を作ることが可能とした。

● ALU CTRL 信号の拡張

ALU は FPGA 使用率削減のため 4 ビットに限定した ALU CTRL 信号を用いて制御を行っている。現在、雛型プロセッサで用いている ALU の機能は、11 種類となっている。つまり 5 種類の空きが存在していて、ALU 機能の追加をそのままの状態で行うことができる。また更に多くの ALU 機能の追加を行いたい場合も VHDL 記述上の変更点をコメント文で記述し、ALU CTRL 信号の追加を容易に行えるようにしている。

● プロセッサ高速化の余地

雛型のプロセッサでは、FPGA 使用率削減を考え、ALU 1 つで全ての命令の実現をするように VHDL 記述を行っている。また ALU をバイパスするようなデータパスも作らないようにしている。そうすることで、制御部に新たなシフタ

等の ALU の追加、新たなデータパスの追加等を行うことができ、プロセッサの高速化を進める余地も残すことができる。

● ステートカウンタ待機制御の実現

命令は、31 ステージまではステートマシン制御上の制限無しに実現が可能である。しかし、それ以上のサイクル数を必要とする命令に対しても対応が行えるように、ステートマシンを待機させる制御が用意しており、それを利用することで長サイクル命令の実現が可能となっている (Fig.1 参照)。

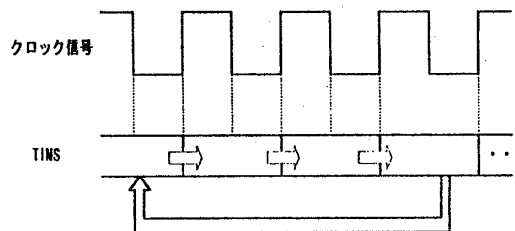


Fig.1 ステートカウンタのループ

設計した COMET 互換プロセッサのデータパスを Fig.2 に示す。

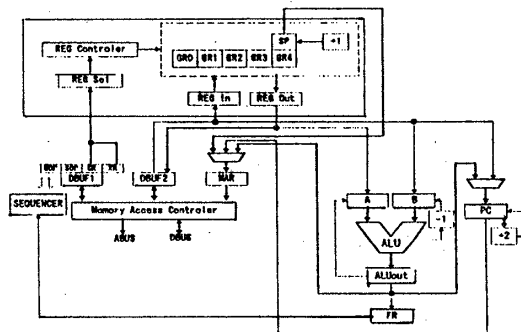


Fig.2 COMET 互換プロセッサのデータパス

4 結言

提案された COMET 互換プロセッサによる演習をより充実した環境にするべく、本研究では COMET 互換プロセッサの開発を行った。製作したプロセッサやその他 PC とのクロス環境を利用することにより、ハードウェア設計の基礎を演習者に提供することができる。今後の課題として、より改良度を実証できるベンチマークの開発や、演習者がプロセッサの改良をしやすいう形に VHDL 記述の書き換えをする事が必要になる。

参考文献

- [1] 吉澤 匡 他:COMET 互換プロセッサによる CPU 設計演習環境の提案と実現, 情報処理学会, 第 56 回大会論文集, 4N-5, 1998.