

## 学生実験で作成する CPU 回路の機能拡張検討

谷内 亘（石川高専専攻科）・松本 剛史（石川高専電子情報工学科）

### 1 目的

石川高専電子情報工学科では、3 年次履修の電子情報工学実験Ⅲにおいて「CPU の作成」という実験テーマを実施している。この実験では、文献 [1] を参考に設計された簡易 CPU 回路のブレッドボード上での実装、ならびに、回路上で動作するプログラムの作成・実行を通して、CPU の回路やプログラム実行との関係を学習できる [2]。しかし、この CPU 回路では実行できるプログラムに制約があるため、日頃の授業において学習するようなアルゴリズムの実装や、異なるアルゴリズムで実装されたプログラム間の比較評価が困難である。そこで、本研究では、CPU 回路作成の実験においてより高い教育効果を得るために、実験で作成する CPU のアーキテクチャを拡張し、より複雑で規模の大きいプログラムを実行可能とすることを目的とする。

### 2 現行 CPU 回路の問題点と拡張方針

現行の CPU 回路では、メモリのアドレス長が 4bit であるためにプログラム長が最大 16 命令である、記憶装置がレジスタ 2 つのみでデータメモリが無い、等の制約があり、実行できるプログラムが大きく制限されている。そこで現行の CPU に対して、次のような拡張を行う。

- データバス、アドレスバス長を 4bit から 8bit へ拡張
- ジャンプ命令のジャンプ先アドレス指定を即値からレジスタへ変更
- レジスタを A, B, C の 3 つに、また記憶装置としてデータメモリを追加
- メモリ読み書きのために LOAD 命令、STORE 命令を追加
- ビット反転命令とレジスタ同士の加算命令を追加

### 3 CPU の拡張と評価

#### 3.1 拡張 CPU の回路設計

表 1 に追加、変更した命令を示す。従来の CPU では命令数は 12 であったが、拡張後の CPU では 16 命令となった。拡張 CPU 回路の動作確認のため、CPU 回路を Verilog HDL で記述し、シミュレーションによる検証を行った。回路記述は 100 行程度であり、全ての命令が正しく動作することを確認した。次に、回路図エディタ Fritzing を用いて、使用 IC の決定と配線設計をしたところ、使用する論理 IC 数は 26 個となった。レジスタ回路にカウンタ IC を使用する等の工夫を行い、従来の CPU 回路を構成する論理 IC 数 14 個に対して、その 2 倍以内に収めることができた。

回路図エディタ Fritzing を用いて、使用 IC の決定と配線設計をしたところ、使用する論理 IC 数は 26 個となった。レジスタ回路にカウンタ IC を使用する等の工夫を行い、従

表 1: 追加, 変更した命令セット一覧

ニーモニック	説明
MOV A, C	A レジスタに C レジスタの値を代入
MOV C, A	C レジスタに A レジスタの値を代入
ADD B, C	B レジスタに C レジスタの値を加算
ADD A, C	A レジスタに C レジスタの値を加算
LD C, B	B レジスタの値をアドレスとして、メモリから C レジスタへ値を読み込む
ST C, B	B レジスタの値をアドレスとして、メモリへ C レジスタの値を書き込む
JMP B	B レジスタの値をプログラムカウンタへ代入
JNC B	キャリーフラグが 0 のとき、B レジスタの値をプログラムカウンタへ代入
INV C	C レジスタの値をビット反転

来の CPU 回路を構成する論理 IC 数 14 個に対して、その 2 倍以内に収めることができた。

#### 3.2 拡張 CPU で実行可能なプログラム

従来 CPU では実行できず、拡張 CPU では実行可能なプログラムの例として、リスト 1 にレジスタ同士の減算を行うプログラム、リスト 2 にメモリ上の値を入れ替えるプログラムをそれぞれ示す。拡張 CPU で可能となったこれらのプログラムを組み合わせることで、データメモリに格納された値のソートプログラムを 90 命令で書くことができた。このソートプログラムは、回路シミュレータを用いて正しく動作することを確認した。

リスト 2: 値の入れ替え

リスト 1: レジスタ同士の減算	MOV B, 0
	LD C, B
	MOV A, C
	MOV B, 1
	LD C, B
	MOV B, 0
	ST C, B
	MOV C, A
	MOV B, 0
	ST C, B

### 4 まとめ

本研究では、今まで用いられてきた教育用 CPU に対して機能の拡張を行い、従来の CPU よりも発展的なプログラムが実行できることを示した。今後、コンパイラの実装やサンプルプログラムの考案を行い、実際に学生実験で教育効果を評価する予定である。

#### 参考文献

- [1] 渡波郁, CPU の創りかた, マイナビ出版, 2003 年.
- [2] 松本, 川除, 田中, 西村, “CPU におけるプログラム実行の原理的な理解のための実験教材の開発と実施”, 石川工業高等専門学校紀要, 第 50 号, pp.17-22, 2021 年 3 月.