

令和 3 年 5 月 26 日現在

機関番号： 5 3 3 0 1
研究種目： 奨励研究
研究期間： 2020 ~ 2020
課題番号： 1 8 H 0 0 2 6 2
研究課題名 デジタル回路実験における能動的回路デバッグを通した論理的思考力養成の試み

研究代表者

西村 美紀子 (NISHIMURA, Mikiko)

石川工業高等専門学校・技術教育支援センター・技術職員

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 290,000 円

研究成果の概要：石川工業高等専門学校電子情報工学科で行うデジタル回路実験で、最も規模の大きい回路を作成する3年生実験「CPUの作成」を対象に回路デバッグ支援システムの開発を行った。システムでは、ブレッドボード上に組まれたCPU回路のレジスタに用いる論理ICをDフリップフロップからシフトレジスタに変更し、テストプログラムを使用することでレジスタ値を可視化し誤り位置を推定できるようにした。実際の学生実験の現場で使用するにはユーザインタフェースを整備する必要があるが、開発システムは実際にブレッドボード上に組まれたCPU回路で検証済みであり、学生が自発的・効率的に回路デバッグが行えるシステムを開発することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブレッドボード上に論理ICで作られたデジタル回路のデバッグは、入出力だけではなく回路内部の電圧から回路誤りを特定していくため、論理的思考力の養成に大いに資する。しかし、デバッグの手がかりすら見つけられない学生も少なくなく、指導スタッフが主導してデバッグせざるを得ないこともある。受け身の経験では論理的思考力が養われないばかりでなく、少数スタッフによる個別対応では「手が止まっている」学生の待ち時間が長くなる。開発システムでは予測する誤り箇所を回路デバッグの「取りかかり」として学生に提示し、学生自身が能動的に試行錯誤を重ねることで、デジタル回路実験を通した論理的思考力の真の養成が期待できる。

研究分野： 電気電子工学

キーワード： デジタル回路実験 回路デバッグ

1. 研究の目的

論理 IC を使用したデジタル回路製作実験において、学生による能動的な回路デバッグを通じた論理的思考力の養成と少人数スタッフでの効率的な学生実験の実施を目指して、「デジタル回路デバッグ支援システム」を開発・導入し、その有効性を明らかにする。

2. 研究成果

本取り組みでは、石川工業高等専門学校電子情報工学科で行うデジタル回路実験で、最も規模の大きい回路を作成する3年生実験「CPUの作成」を対象にシステムの開発を行った。対象実験で作成するCPUのアーキテクチャは、基本的には文献1)で紹介されているTD4を採用している。TD4は、12種の命令と2個の汎用レジスタ（一時的にデータを保存するCPU内のメモリ）であるAレジスタとBレジスタを持つCPUであり、演算は4ビットで行われる。また、ディップスイッチのON/OFFを切り替えることによって、CPUへ4ビットの値を入力することができる。加えて、CPUからの出力として4ビットの値を出力することができる。出力された値は、出力レジスタで保存され、これに接続されている発光ダイオード（LED）の点灯状況によって出力値を確認することができるようになっている。実際の実験では図1に示すように全体回路を①～④の4つに分割し、4人1組で分担して行われる。①～④の回路は完成後にあらかじめ用意されたプリント基板回路と結合され、1つのCPU回路となる。なお、作成する回路を簡単にするため、図1の命令メモリの機能は、Arduinoによって代替している。そのため、CPUで実行するプログラムは、Arduino上のスケッチ（Arduinoにおけるプログラムの呼称）中に書き込まれており、スケッチを変更してArduinoに書き込むことにより容易に変更可能である。本取り組みでは図1に示す①のレジスタ回路について次の(1)(2)の通りに変更・プログラムの作成を行うことでデバッグ支援システムの開発を行った。

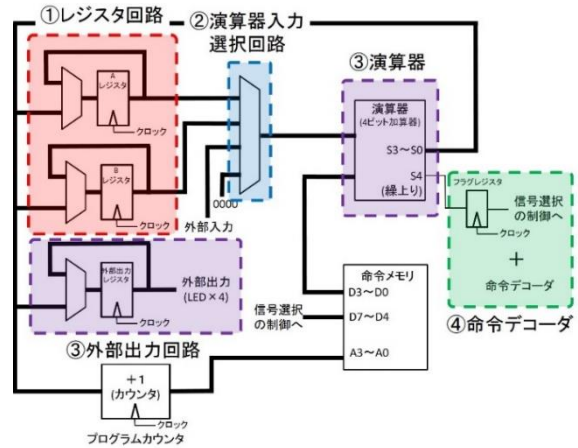


図1. 作成する回路

図1の命令メモリの機能は、Arduinoによって代替している。そのため、CPUで実行するプログラムは、Arduino上のスケッチ（Arduinoにおけるプログラムの呼称）中に書き込まれており、スケッチを変更してArduinoに書き込むことにより容易に変更可能である。本取り組みでは図1に示す①のレジスタ回路について次の(1)(2)の通りに変更・プログラムの作成を行うことでデバッグ支援システムの開発を行った。

(1) シフトレジスタを用いたレジスタ値の可視化

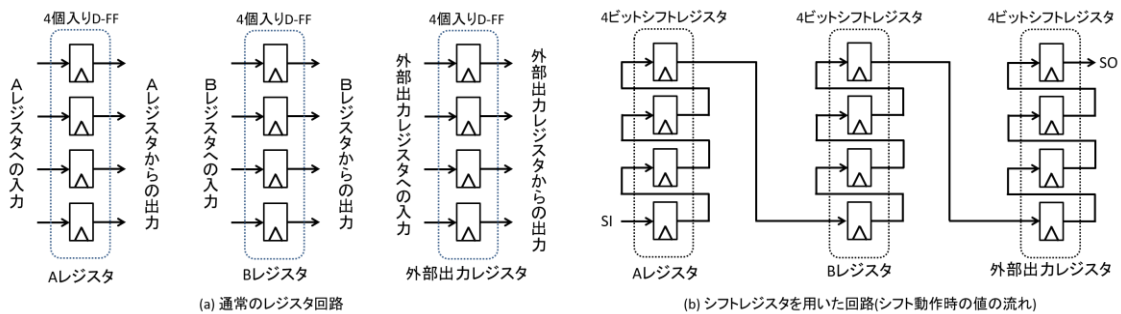


図2. シフトレジスタの使用

ブレッドボード上の回路デバッグを効率化するためには、回路内のレジスタ（Aレジスタ、Bレジスタ、外部出力レジスタ）の値を把握することが有効である。そこで、レジスタに用いる論理ICをDフリップフロップ（4個入り）から4ビットシフトレジスタに変更し、さらに、3つのシフトレジスタを直列に接続した。これは、集積回路のテストにおいて一般的に用いられている、スキャンチェーンの考え方に基づくものである。図2を用いて、シフトレジスタに変更することによって、レジスタ値を観測する原理を説明する。図2(a)は、シフトレジスタに変更する前のレジスタ回路の動作を示している。この場合、レジスタは、入力値をクロック毎に保存・出力する機能だけを持つ。図2(b)は、各レジスタとして4ビットシフトレジスタを用いた回路である。3つのレジスタにはシフトレジスタICを使用し、シフト時には全12ビットが一列に並ぶように接続されている。シフトレジスタは、クロック毎に1ビットずつ記憶されている値をシフトする動作をする。CPU実行中のある時点でのレジスタ値を知りたい場合には、その時点で実行を止めてシフト動作をさせる。これにより、

S0 からレジスタ値が 1 ビットずつ出力されるので、これを Arduino で取り込めばレジスタ値を読み出すことができる。逆に、SI から 1 ビットずつ入力することにより、レジスタに所望の値を書き込み、そこから CPU の実行をスタートさせることも可能である。シフトレジスタの IC には、PE (Parallel LoadEnable) という入力があり、PE が 1 のときは通常の 4 ビットレジスタとして動作し、0 のときはシフト動作をする。そのため、PE を Arduino のスケッチで制御することによって、通常の CPU 動作とレジスタ値の書き込み・読出しのためのシフト動作を切り替えることが可能である。

(2) テストプログラムを用いた誤り位置の推定

(1) では、CPU 回路中のレジスタ回路をシフトレジスタ IC を用いて作成することによってスキャンチェーンを構成し、レジスタ値を任意の値に設定でき、また、レジスタ値を回路外部へ取り出せることを示した。これらの機能を用いることにより、以下の手順で、任意のテストパターンで回路をテストすることが可能になる。

- ①シフトレジスタをシフト動作モードにして (PE=0 にして)、Arduino を用いて SI から 12 ビットの値を入力し、レジスタ値を任意の値に設定する。ここで書き込まれた値がテストパターンとなる。
- ②シフトレジスタをレジスタ動作モードにして (PE=1 にして)、1 クロックだけ CPU 回路を実行する。この実行により、レジスタ値は、1 で設定したレジスタ値の状態から 1 クロックだけ CPU 回路を実行した結果で上書きされる。更新されたレジスタ値が、テストパターンに対する出力パターンとなる。
- ③シフトレジスタを再びシフト動作モードにして、Arduino を用いて S0 からレジスタ値を読み出す。
- ④Arduino 内のスケッチで、CPU 回路から得られた出力パターンと期待値 (与えたテストパターンに対する正しい出力パターン) を比較し、誤りの有無を確認する。

1 つのテストパターンのテストには、CPU 回路で 25 クロック分の時間を要する。学生が実験を行う際には、プログラムの実行結果である LED の点灯パターンを目視で確認する必要があるため、クロック周波数は 1Hz としているが、ブレッドボード上の CPU 回路は 250Hz のクロックでも十分に動作可能である。そのため、テスト時のみクロック周波数を変更することにより、10 秒間で 100 パターン程度のテストが可能であり、回路規模を考慮すると現実的な時間で十分なテストが可能である。

開発した(1)(2)のデバッグシステムは、実際の学生実験の現場で使用するにはユーザインタフェースを整備する必要があるが、実際にブレッドボード上に組み込まれた CPU 回路で検証済みであり、十分に実用化可能な回路デバッグ支援システムとなった。

<参考文献>

- 1) 渡波郁: CPU の創り方、毎日コミュニケーションズ (2003)

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 西村美紀子、尾山敬典、松本剛史	4. 巻 第53号
2. 論文標題 CPU作成実験における効率的な回路デバッグ環境の構築	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 石川工業高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
松本 剛史	(MATSUMOTO Takeshi)
尾山 敬典	(OYAMA Keisuke)