マイクロコンピュータ基礎(1)

- 実験年月日 2018年4月16日
- 提出年月日 2018年4月23日
- 班番号 6
- 報告者 3年19番6班 末田 貴一
- 共同実験者
  - 7番 川上 求
  - 42番 山崎 敦史
  - 47番 ロンサン

目的

マイクロコンピュータ基礎の実験では機械語によるプログラミングを通してマイクロコンピュータの基本動作について理解する.
第一回ではスロースキャン・コンピュータという実習機器によってコンピュータの中心であるCPUの素振りを観察する.

原理

CPU(中央処理装置)について

コンピュータは2値情報を記憶・処理する.
この2値は電圧の高低で判断しており，人間はこれを0と1を利用した2進数として扱う.
CPUとMainMemoryはバス(共有の信号線の集まり)で接続されている.
MainMemoryから読み出された命令(2進数)はバスを通りCPUに取り込まれる.
コンピュータが処理できる2進数を機械語と言う.
CPUはMainMemoryから逐次命令を読み出して実行する

ノイマン型コンピュータについて

ノイマン型コンピュータの機能は4つに分かれる.

1. Fetch
   命令を取り出して読み込む.
2. Decode
   命令を解読・解釈する.
3. Execute
   解読・解釈した命令を実行する.

4. Repeat
   命令が停止命令でなければ繰り返す．

1~4の動作の流れを命令実行サイクル(Instruction Execution Cycle)と言う．

実際にノイマン型コンピュータを動作させることについて

実際にノイマン型コンピュータを動作させる場合の手順は4つに要約できる．

1. アルゴリズムを検討する．
2. アルゴリズムをプログラムする．
3. プログラムをマイクロコンピュータに書き込む．
4. プログラムを指定して実行する．

書き込む際には目盛りの場所を指定する必要がある．
今回のスロースキャン・コンピュータの場合は5ビットに2進数を利用し，00000~11111までを指定できる

スロースキャン・コンピュータについて

- 構成
  - CPU
    - 制御装置
    - 命令デコーダ
    - 算術論理演算装置
    - 各種レジスタ
  - バス
    - 制御バス
      - どの機器がデータを送受信するかという信号と
        読み込み操作か書き込み操作かを通知するための信号が通る．
    - アドレスバス
      - 読み書きの対象となるアドレスが通る．
    - データバス
      - 実際のデータが送られる．
  - メモリ
    - 32バイト
    - アドレスは00000~11111で指定する
  - I/Oポート
    - 入力装置
    - 出力装置
      - 省略されている．
      - 出力レジスタの値はLEDによって確認する．

- 観察
  各部のLEDで状態を観察でき，発光していれば1，していなければ0である．
  - CPUの状態を観察する
    - PROGRAM COUNTER
      - 右上のあたり
    - INSTRUCTION
      - PROGRAM COUNTERの下のあたり
    - DECODER
      - INSTRUCTIONの下のあたり
    - ACCUMULATOR
      - DECODERの下のあたり
  - メモリの内容を知る
    - ADDRESS
      - 左上のあたり
      - CPUが読み書きするメモリの番地が一時的に格納される場所．
    - MEMORY
      - ADDRESSの下のあたり
      - 指定されたアドレスから読み出される，書き込まれるデータが格納される場所
  - 命令サイクルを知る
    - HALT
    - FETCH
    - EXE
- 操作
  - 各種スイッチ
    - 盤面の下にある

実験に係る説明

準備

1. スロースキャン・コンピュータの電源コンセントを接続する．
2. RUN/STOPをSTOPに設定する．
3. 電源をONにする．
4. 正常に電源が投入されるとPOWERランプが点灯する．

メモリへ書き込む

アドレスの指定

1. ADRS/DATA(盤面の下の真ん中のあたりにあるスイッチ)をADRSに設定する．
   2. これはスロースキャン・コンピュータに番地を指定することを教えている．
2. データスイッチ(盤面の下の左よりのあたりにある8つのスイッチ)の右側5桁を利用して上:1，下:0としてアドレスを設定する．
3. WRITEスイッチ(盤面の下の真ん中よりちょっとだけ右側にあるSTOP/RUNの左側にあるスイッチ)を押す．
4. 指定した番地の情報がINPUTに取り込まれた後，PROGRAM COUNTERに送られる．
5. 指定した番地の現在の内容がOUTPUTSに表示される(表示内容は機器によって違う)．

データを書き込む

1. ADRS/DATAスイッチをDATAに設定する．
2. データスイッチを書き込む内容になるように設定する．
3. WRITEスイッチを押す．
4. データスイッチの内容がINPUTに取り込まれた後，見えない所でデータバスを通ってデータがメモリに転送される．
5. 書き込みが完了するとPROGRAM COUNTERが1だけ増加する
6. 新しい番地の内容がOUTPUTSに表示される．

メモリの中を見る

アドレスを指定する操作を行うとそのアドレスの内容をOUTPUTに表示させることができる．

連続したアドレスに順番にデータを書き込む

データを書き込む操作を繰り返すことで番地が1ずつ進み，連続したアドレスに順番にデータを書き込むことができる．

プログラムの実行

- 自動実行

1. AUTO/STEPスイッチをAUTOに設定する．
2. HIGH/LOWスイッチをLOWに設定する．
3. RUN/STOPスイチをRUNに設定する
   4. すると，00000番地から順番にプログラムが実行される
   5. いろいろなランプが点灯，消灯する
4. HALRランプが点灯するとプログラムの実行が停止する．
5. RUN/STOPスイッチをSTOPに設定する．

- ステップ実行

1. AUTO/STEPスイッチをSTEPに設定する．

2. HIGH/LOWスイッチをLOWに設定する．
3. RUN/STOPスイッチをRUNに知っていする．
   4. すると，CLOCKランプが点灯しFETCHランプが点滅する．
4. FET/EXEスイッチを一度押す
   6. すると，FETCHランプが点灯して命令の読み込みと解読が行われる．
   7. EXEランプが点滅する．
5. 再びFET/EXEスイッチを押すと1つ目の命令が実行される．
6. 1つ目の命令を実行し終えるとFETCHランプが点灯する．
7. 再びFET/EXEスイッチを押すと次の命令が実行される．
8. 停止命令が実行されるとHALTランプが点灯する．
9. RUN/STOPスイッチSTOPに設定する．

負の数の表現

2の補数表現によって表現する

フラグについて

CY：ALUでの結果に桁上り，桁下がりがあった際に光る
Z：ALUでの結果が0のとき光る
OF：ALUでの結果がオーバーフロー，ボローした際に光る

命令の構成

CPUは2進数によって表される機械語命令を解釈・実行する．
スロースキャン・コンピュータの機械語命令は全て8ビットである．
上位3ビットは命令の種類を表す命令コード(オペコードと言う)で，下位の5ビットは演算や転送などの対象となるアドレスでこれをオペランドと言う．

- ロード命令
  オペランドで指定した番地の内容をACCUMULATORにコピーする命令である．
  コピーなので指定されたアドレスの内容はそのまま残る．

> オペコード：011
> オペランド：コピー元の番地

```
011オペランド
```

- ストア命令
  ACCUMULATORの内容をオペランドで指定した番地に転送(コピー)する．
  コピーなのでACCUMULATORの内容はそのまま残る．

オペコード：100
オペランド：コピー先の番地

100オペランド

- 入力命令
  Inputの内容をオペランドで指定した番地に転送する

オペコード：101
オペランド：転送先の番地

101オペランド

- 出力命令
  オペランドで指定した番地をOutputに転送する

オペコード：110
オペランド：転送元の番地

110オペランド

- 加算命令
  アキュムレータの内容＋オペランドで指定された番地の値＝アキュムレータに表示される.

オペコード：001
オペランド：加算する値の格納されたメモリの番地

001オペランド

- 減算命令
  アキュムレータの内容ーオペランドで指定された番地の値＝アキュムレータに表示される

オペコード：010
オペランド：減算する値の格納されたメモリの値

010オペランド

- ジャンプ命令
  プログラムの制御をオペランドで指定されたメモリまでジャンプさせる

> オペコード：000
> オペランド：ジャンプ先メモリの番地

```
000オペランド
```

- スキップ命令
  直後のプログラムを飛ばす処理をさせる命令.
  →プログラム・カウンタが2増える
- 11111000
  - CY==1 then jump
- 11111001
  - CY==0 then jump
- 11111010
  - Z==1 then jump
- 11111011
  - Z==0 then jump
- 11111100
  - OF==1 then jump
- 11111101
  - OF==0 then jump
- 1111110
  - 何もしない
- 11111111
  - 停止命令

これらはすべて特殊命令である.

実験1

内容

PROGRAM COUNTERが01011になっている.
01011番地に"11110000"を書き込む.
01100番地に"00001111"を書き込む.

方法

アドレスの指定の操作とデータを書き込む操作をそれぞれの番地に対して行う.

- 01011番地に"11110000"を書き込む.
  アドレスを01011に指定し，書き込むデータを11110000とする.

- 01100番地に"00001111"を書き込む.
  アドレスを01100に指定し，書き込むデータを00001111とする.

結果

結果を確認するためにテキストM1-7の5.3にあるメモリ内容の読み出しをする.

1. アドレスを指定する操作を行う.
2. OUTPUTに表示される内容を確認する.
3. READスイッチを押す.
4. PROGRAM COUNTERが点滅する．(更新されないが読み込みモードに移行している)
5. 再びREADにスイッチを押す.
6. PROGRAM COUNTERが1だけ更新され，次の番地の内容がOUTPUTにに表示される．その内容を確認する.
7. 再びREADスイッチを押してその次の番地の内容を確認する

結果は下の表1の通り

表1

01011	**01100**
11110000	00001111

実験2

内容

00011番地のデータを読み出す

方法

adrsで番地00011を指定して読み出す

結果

Input	**Output**
00011	01000001

実験3

内容

ロード命令を使用するプログラムを作成・実行.

```
011オペランド
```

プログラム

番地	機械語	備考
00000	01100101	00101番地の内容をアキュムレータに転送する命令
00001	11111111	停止命令
00101	00110011	アキュムレータに転送される内容

方法

実験書のプログラムを書き込む.
プログラムを自動実行した後00101番地に書き込んだデータがACCUMULATORに転送されていることを確認する.
RUN/STOPスイッチをSTOPに設定することを忘れないこと.

結果

アキュムレータ： 00110011

実験4

内容

ストア命令を仕様するプログラムの作成・実行

```
100オペランド
```

プログラム

番地	機械語	備考
00000	01100101	00101番地の内容をアキュムレータに転送する
00001	10000110	アキュムレータの内容を00110番地に転送する
00010	11111111	停止命令
00101	00110011	アキュムレータに転送される内容

方法

実験書のプログラムを書き込み，メモリ内容を読みだして正しく書き込めているかを確認する
間違いがあれば修正すること.
プログラムを自動実行する.
その後，00110の番地内容を読み出して，00101番地の内容と同じになっているかを確認する

プログラムをステップ実行する
以下の2点を確認する

- ストア命令を読み込んで解読した際，DECODERの中で命令を表すSTRが点灯するか？
- ストア命令を実行するときACCUMULATORの内容がメモリレジスタを通ってメモリに書き込まれているか？

結果

00110番地： 00110011
00101番地： 00110011

STEP実行に関して

DECODERでSTRを示すランプが光った.
メモリのところが 00110011 に光った.

実験5

内容

入出力命令を使用したプログラムの作成・実行

プログラム

番地	機械語	備考
00000	10100101	スイッチの内容を00101番地に転送
00001	11000101	00101番地の内容を出力する
00010	11111111	停止命令

方法

実験書のプログラムを書き込み，メモリ内容を読み出して内容を確認.
その後自動実行する.
↓
Inputに先程とは違う値を入力する

結果

Input: 00110011
Output: 00110011

Inputの値を変えた場合

私と川上の組ではInputを 11001100に変更した.
Outputは 11001100 となり意図したプログラム通りに動いていることが分かった.

実験6

内容

加算命令を使用したプログラムの作成・実行

プログラム

番地	機械語	備考
00000	01100101	00101番地の内容をアキュムレータに転送
00001	00100110	アキュムレータの内容に00110番地の内容を加算
00010	11111111	停止命令
00101	00000011	アキュムレータに転送される内容
00110	00000001	加算される内容

方法

実験書のプログラムを書き込む.
念の為メモリを読み出して内容を確認し自動実行.
この時点で二人共操作に慣れてきてプログラムの入力ミスが無くなった.

結果

アキュムレータ： 00000100
この値は00101番地に格納していたアキュムレータに転送される予定の値である 00000011 と,
00110番地に格納されていた 00000001 の加算結果である.

ステップ実行した場合

a. ADDが点灯したことを確認できた
b. 00110番地の内容がメモリのところに表示された： 00000001
c. ALUに加算結果(00000100)が表示された後，アキュムレータにも 00000100 と表示された.

実験7

内容

実験6のプログラムを減算するように変更する.

方法

00001番地に書き込む内容を 00100110 から 01000110 に変更した後,
自動実行する.

結果

アキュムレータ： 00000010
この値は00101番地に格納していたアキュムレータに転送される予定の値である 00000011 と,
00110番地に格納されていた 00000001 の減算結果である.
また動作の途中でDECODERのSUBが光ったことも確認できた

実験8

内容

ジャンプ命令を使用したプログラムの作成・実行

プログラム

番地	機械語	備考
00000	01100101	00101番地の内容をアキュムレータに転送
00001	00100110	アキュムレータの内容に00110番地の内容を加算
00010	00000001	00001番地にジャンプする
00101	00000011	アキュムレータに転送される内容
00110	00000001	加算される内容

方法

実験書のプログラムを書き込み自動実行する

結果

DECODERのADDとJPが繰り返された.
無限ループ(ジャンプ)するプログラムなので見飽きた頃に停止させた.

実験9

内容

01000番地と01001番地に格納されたデータを比較し，大きい方を表示するプログラムの作成・実行

プログラム

番地	機械語	備考
00000	01101000	01000番地の内容をアキュムレータに転送
00001	01001001	アキュムレータの内容から01001番地の内容を減算
00010	11111001	キャリーフラグが0のとき次の命令をスキップ
00011	00000110	00110番地へジャンプ
00100	11001000	01000番地の内容を出力レジスタに表示
00101	11111111	停止命令
00110	11001001	01001番地の内容を出力する
00111	11111111	停止命令
01000	00100101	データ1
01001	00100011	データ2

方法

実験書にあるプログラムの書き込み，読み出して確認，自動実行.

結果

CY==0であったことが確認できた
JPが光らなかったのでスキップ命令00100番地の命令を実行されたことも確認できた．(EXTが光った)
OUTPUT: 00100101

01001番地と01000番地のデータを入れ替えた(大小逆転させた)場合

CY==1になってJPが光った.
OUTPUT: 00100101
ちゃんとデータの大小によって条件分岐ができていることがわかる.

実験10

内容

実験9のプログラムを変更して小さい値を出力するプログラムの作成・実行

プログラム

番地	機械語	備考
00000	01101000	01000番地の内容をアキュムレータに転送
00001	01001001	アキュムレータの内容から01001番地の内容を減算
00010	11111000	キャリーフラグが1のとき次の命令をスキップ
00011	00000110	00110番地へジャンプ
00100	11001000	01000番地の内容を出力レジスタに表示
00101	11111111	停止命令
00110	11001001	01001番地の内容を出力する
00111	11111111	停止命令
01000	00100101	データ1
01001	00100011	データ2

方法

実験9は条件分岐，if文を実装していると考えられる．
↓
if文の条件式

```
if(01000>01001){
    01000番地の内容を表示
}else{
    01001番地の内容を表示
}
```

↓
これによって大きいほうが表示されている
条件式を逆転させれば良い
↓

```
if(01000<01001){
    01000番地の内容を表示
}else{
    01001番地の内容を表示
}
```

↓
00010番地のコードを11111001から11111000に変更する

結果

01000：00100101
01001：00100011
OUTPUT：00100011

01000と01001を入れ替えてみる

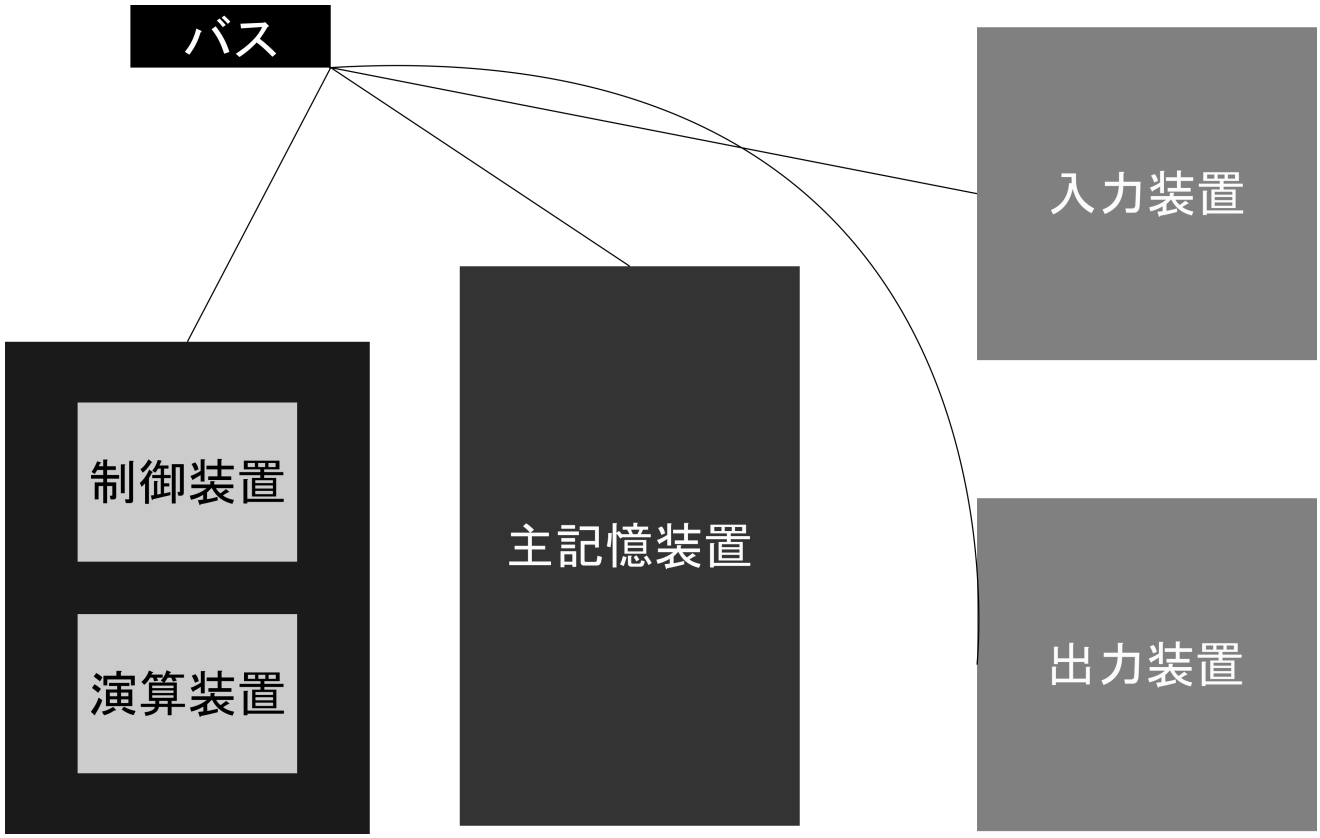
01000：00100011
01001：00100101
OUTPUT：00100011

となり小さいほうが表示されているため成功したと考えられる.

考察課題

1. フォン・ノイマン式コンピュータの基本的な構成要素について図と文章を用いて説明しなさい

- 入力装置
- 出力装置
- 制御装置
- 演算装置
- 主記憶装置



2. 実験で作成したプログラムの中には，同じ機能を果たすために複数の異なるプログラムが考えられるものがある．この例をあげてどのように異なったプログラムが考えられるかを説明しなさい．

実験6を例に考えると加算命令のオペランドで指定した番地に2の補数表現によって表された負の数を格納しておくことで，減算命令と同様の振る舞いをさせることができる．

3. 実験3や実験4のプログラムにおいて停止命令を入れ忘れるとどのような問題が生じ得るかを考えて報告しなさい

実験3の場合，00001の停止命令がなかったときそのまま進んで何が入ってるかわからないメモリの命令を実行してしまったり，
何もなかったとしても，00101番地においてある00110011を加算命令として解釈してしまい，意図しない動作をする可能性がある．
実験4の場合も同様のことが言える．