62010619 พัทธพล จันทร์ชู

62010785 ลิขิตภูมิ ลิขิตงาม

ภาคผนวก J

การทดลองที่ 10 การเชื่อมต่อกับขา GPIO

การทดลองนี้คาดว่าผู้อ่านเคยเรียนการเขียนหรือพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C มาบ้างแล้ว และมีความคุ้นเคยกับ IDE (Integrated Development Environment) จากพัฒนาโปรแกรมและการดีบักโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ และแอสเซมบลี ดังนั้น การทดลองมีวัตถุประสงค์เหล่านี้

- เพื่อปฏิบัติการเชื่อมต่อวงจรกับขา GPIO บนบอร์ด Pi3 ตามเนื้อหาในบทที่ 6 หัวข้อที่ 6.11
- เพื่อพัฒนาโปรแกรมภาษา C ควบคุมการทำงานของขา GPIO
- เพื่อพัฒนาโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีควบคุมการทำงานของขา GPIO

โปรดสังเกตตัวอักษร w ที่คำว่า wiringPi ต้องเป็นตัวอักษรพิมพ์เล็ก

J.1 ไลบรารี wiringPi

ไลบรารี wiringPi เป็นฟังค์ชันที่พัฒนาด้วยภาษา C สำหรับบอร์ด Pi เป็น OpenSource ภายใต้ GNU LGPLv3 license สามารถเรียกใช้งานผ่าน ภาษา C and C++ รวมถึงแอสเซมบลี

เนื่องจากไลบรารี wiringPiเป็นซอฟท์แวร์แบบ Open Source แจกให้แก่นักพัฒนาทั่วโลกผ่านทาง `https://github.com/WiringPi` และมีการปรับปรุงแก้ไขตลอดเวลาโดยทีมนักพัฒนา ดังนั้น ผู้อ่านควรต้องติดตั้งและปรับปรุงระบบปฏิบัติการให้ทันสมัยและติดตั้ง ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ผู้อ่านควรปรับปรุงระบบปฏิบัติการให้เป็นปัจจุบันก่อน โดยพิมพ์คำสั่งนี้บนโปรแกรม Terminal โดยใช้สิทธิ์ของ SuperUser:

   ```
   $  sudo apt-get update
   $  sudo apt-get upgrade
   ```

   ขั้นตอนนี้จะใช้เวลานานและความอดทน รวมถึงการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีเสถียรภาพ

2. ติดตั้ง wiringPi โดยพิมพ์คำสั่งนี้บน Terminal โดยใช้สิทธิ์ของ SuperUser:

   ```
   $  sudo apt-get install wiringPi
   ```

   คำสั่งนี้จะติดตั้งไลบรารีลงบนการ์ดหน่วยความจำ SD ในบอร์ด

3. เรียกคำสั่ง gpio -v เพื่อทดสอบการติดตั้งไลบรารี wiringPi และได้ผลลัพธ์ของการเรียกดังนี้

```
$   gpio  -v
gpio version: 2.50
Copyright (c) 2012-2018 Gordon Henderson
This is free software with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
For details type: gpio -warranty

Raspberry Pi Details:
  Type: Pi 3, Revision: 02, Memory: 1024MB, Maker: Sony
  * Device tree is enabled.
  *--> Raspberry Pi 3 Model B Rev 1.2
  * This Raspberry Pi supports user-level GPIO access.
```

4. เรียกคำสั่ง gpio readall เพื่อตรวจสอบและบันทึกผลลัพธ์ที่แสดงบนหน้าต่าง Terminal ลงในตารางหน้าถัดไป

```
$   gpio readall
```

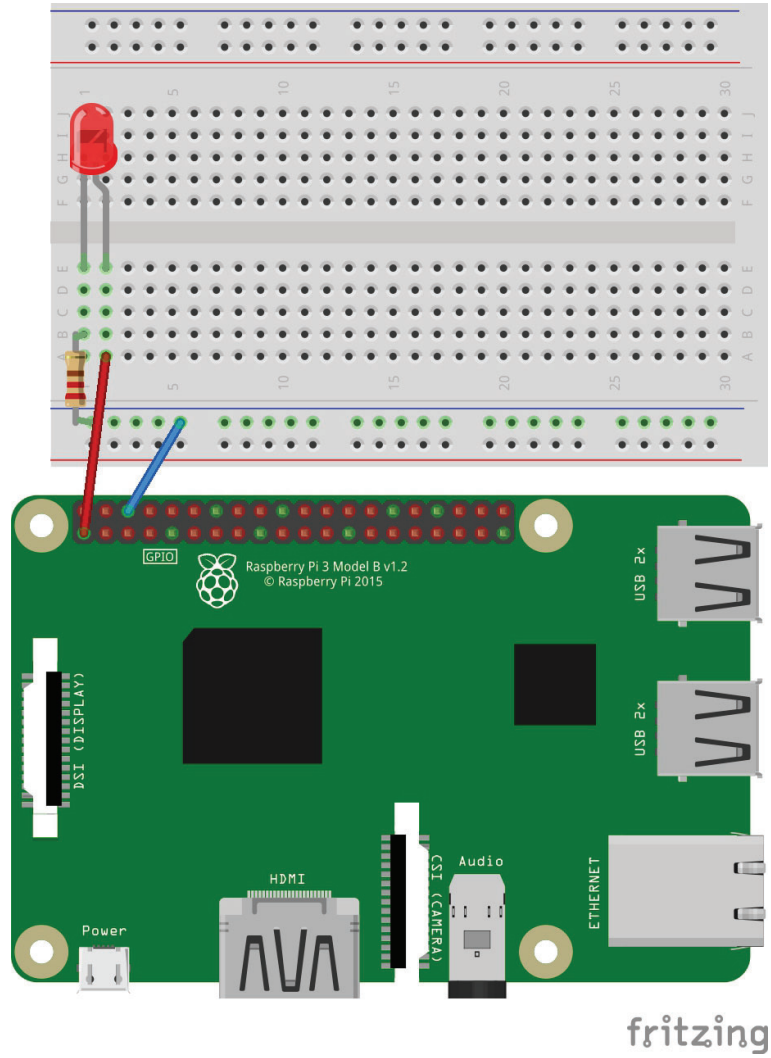
5. จงเติมหมายเลขในคอลัมน์ wPi (wiringPi) ให้ตรงกับขาเชื่อมต่อ 40 ขาบนบอร์ด Pi ตามที่แสดงบนหน้าจอลงในตารางต่อไปนี้ เพื่อใช้ประกอบการต่อวงจรที่ถูกต้อง

```
+-----+-----+---------+------+---+---Pi 3B--+---+------+---------+-----+-----+
| BCM | wPi |   Name  | Mode | V | Physical | V | Mode | Name    | wPi | BCM |
+-----+-----+---------+------+---+----++----+---+------+---------+-----+-----+
|     |     |    3.3v |      |   |  1 || 2  |   |      | 5v      |     |     |
|   2 |   8 |   SDA.1 |   IN | 1 |  3 || 4  |   |      | 5v      |     |     |
|   3 |   9 |   SCL.1 |   IN | 1 |  5 || 6  |   |      | 0v      |     |     |
|   4 |   7 | GPIO. 7 |   IN | 1 |  7 || 8  | 0 | IN   | TxD     | 15  | 14  |
|     |     |      0v |      |   |  9 || 10 | 1 | IN   | RxD     | 16  | 15  |
|  17 |   0 | GPIO. 0 |   IN | 0 | 11 || 12 | 0 | IN   | GPIO. 1 | 1   | 18  |
|  27 |   2 | GPIO. 2 |   IN | 0 | 13 || 14 |   |      | 0v      |     |     |
|  22 |   3 | GPIO. 3 |   IN | 0 | 15 || 16 | 0 | IN   | GPIO. 4 | 4   | 23  |
|     |     |    3.3v |      |   | 17 || 18 | 0 | IN   | GPIO. 5 | 5   | 24  |
|  10 |  12 |    MOSI |   IN | 0 | 19 || 20 |   |      | 0v      |     |     |
|   9 |  13 |    MISO |   IN | 0 | 21 || 22 | 0 | IN   | GPIO. 6 | 6   | 25  |
|  11 |  14 |    SCLK |   IN | 0 | 23 || 24 | 1 | IN   | CE0     | 10  | 8   |
|     |     |      0v |      |   | 25 || 26 | 1 | IN   | CE1     | 11  | 7   |
|   0 |  30 |   SDA.0 |   IN | 1 | 27 || 28 | 1 | IN   | SCL.0   | 31  | 1   |
|   5 |  21 | GPIO.21 |   IN | 1 | 29 || 30 |   |      | 0v      |     |     |
|   6 |  22 | GPIO.22 |   IN | 1 | 31 || 32 | 0 | IN   | GPIO.26 | 26  | 12  |
|  13 |  23 | GPIO.23 |   IN | 0 | 33 || 34 |   |      | 0v      |     |     |
|  19 |  24 | GPIO.24 |   IN | 0 | 35 || 36 | 0 | IN   | GPIO.27 | 27  | 16  |
|  26 |  25 | GPIO.25 |   IN | 0 | 37 || 38 | 0 | IN   | GPIO.28 | 28  | 20  |
|     |     |      0v |      |   | 39 || 40 | 0 | IN   | GPIO.29 | 29  | 21  |
+-----+-----+---------+------+---+----++----+---+------+---------+-----+-----+
| BCM | wPi |   Name  | Mode | V | Physical | V | Mode | Name    | wPi | BCM |
+-----+-----+---------+------+---+---Pi 3B--+---+------+---------+-----+-----+
```

```
 ----+-----+---------+------+---Pi 3B--+------+---------+-----+----
 BCM | wPi |   Name  |    V | Physical | V    |   Name  | wPi | BCM
 ----+-----+---------+------+----++----+------+---------+-----+----
     |     |    3.3v |      |  1 || 2  |      | 5v      |     |
   2 |   8 |   SDA.1 |    1 |  3 || 4  |      | 5v      |     |
   3 |   9 |   SCL.1 |    1 |  5 || 6  |      | 0v      |     |
   4 |   7 | GPIO. 7 |    1 |  7 || 8  | 0    | TxD     |  15 |  14
     |     |      0v |      |  9 || 10 | 1    | RxD     |  16 |  15
  17 |   0 | GPIO. 0 |    0 | 11 || 12 | 0    | GPIO. 1 |   1 |  18
  27 |   2 | GPIO. 2 |    0 | 13 || 14 |      | 0v      |     |
  22 |   3 | GPIO. 3 |    0 | 15 || 16 | 0    | GPIO. 4 |   4 |  23
     |     |    3.3v |      | 17 || 18 | 0    | GPIO. 5 |   5 |  24
  10 |  12 |    MOSI |    0 | 19 || 20 |      | 0v      |     |
   9 |  13 |    MISO |    0 | 21 || 22 | 0    | GPIO. 6 |   6 |  25
  11 |  14 |    SCLK |    0 | 23 || 24 | 1    | CE0     |  10 |   8
     |     |      0v |      | 25 || 26 | 1    | CE1     |  11 |   7
   0 |  30 |   SDA.0 |    1 | 27 || 28 | 1    | SCL.0   |  31 |   1
   5 |  21 | GPIO.21 |    1 | 29 || 30 |      | 0v      |     |
   6 |  22 | GPIO.22 |    1 | 31 || 32 | 0    | GPIO.26 |  26 |  12
  13 |  23 | GPIO.23 |    0 | 33 || 34 |      | 0v      |     |
  19 |  24 | GPIO.24 |    0 | 35 || 36 | 0    | GPIO.27 |  27 |  16
  26 |  25 | GPIO.25 |    0 | 37 || 38 | 0    | GPIO.28 |  28 |  20
     |     |      0v |      | 39 || 40 | 0    | GPIO.29 |  29 |  21
 ----+-----+---------+------+---Pi 3B--+------+---------+-----+----
 BCM | wPi |   Name  |    V | Physical | V    |   Name  | wPi | BCM
 ----+-----+---------+------+----++----+------+---------+-----+----
```

J.2 วงจรไฟ LED กระพริบ

1. รายการอุปกรณ์ที่ต้องใช้:
    - หลอด LED จำนวน 3 หลอด
    - ตัวต้านทาน (Resistor) ที่เตรียมไว้ให้จำนวน 3 ตัว
    - แผ่นต่อวงจรโปรโตบอร์ด
    - สายต่อวงจร
2. ชัทดาวน์และตัดไฟเลี้ยงออกจากบอร์ด Pi3 เพื่อความปลอดภัยในการต่อวงจร
3. ศึกษาตารางที่กรอกก่อนหน้านี้ให้เข้าใจ แล้วจึงต่อวงจรตามรูปที่ J.1



รูปที่ J.1: วงจรเชื่อมต่อหลอด LED กับบอร์ด Pi3 ในการทดลองที่ 10 เพื่อทดสอบว่าหลอด LED ทำงาน ที่มา: fritzing.org

4. จงวาดวงจรที่ต่อในรูปที่ J.1 ประกอบด้วย ตัวต้านทาน ไฟเลี้ยง 3.3 โวลท์ ขา LED และกราวด์ (0 โวลท์)
5. ตรวจสอบความถูกต้อง โดยให้ผู้ควบคุมการทดลองตรวจสอบ
6. จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่หลอด LED หากหลอด LED ไม่สว่าง ขอความช่วยเหลือจากผู้ควบคุมการทดลอง

J.3 โปรแกรมไฟ LED กระพริบภาษา C

1. เรียกโปรแกรม Code::Blocks ผ่านทาง Terminal โดยใช้สิทธิ์ของ SuperUser ดังนี้

```
$ sudo codeblocks
```

2. สร้าง project ใหม่ชื่อ Lab10 จนเสร็จสิ้น
3. คลิกเมนู ”Setting/Compiler...” เลือก แท็บ ”Linker settings” แล้วกดปุ่ม ”Add”

4. ป้อนประโยค ”/usr/lib/libwiringPi.so;” ในหน้าต่าง Add Library แล้วกดปุ่ม ”OK” เพื่อปิดหน้าต่าง
5. กดปุ่ม ”OK” เพื่อยืนยัน
6. ป้อนโปรแกรมลงในไฟล์ใหม่ที่สร้างขึ้นโดยให้ชื่อว่า main.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <wiringPi.h>
int main ( void ) {
int pin = 7;
  printf(”LED blinking by wiringPi\n”);
  if (wiringPiSetup() == -1) {
     printf( ”Setting up problem ... Abort!” );
     exit (1);
  }
  pinMode(pin, OUTPUT); /* set pin=7 to Output mode */
  int i;
  for ( i=0; i<10; i++ ) {
    digitalWrite(pin, 1);     /* LED On  */
    delay(500);
    digitalWrite(pin, 0);     /* LED Off */
    delay(500);
  }
  return 0;
}
```

7. ทำการ Build และแก้ไขหากมีข้อผิดพลาดจนสำเร็จ
8. ย้ายสายจากขา 1 ของหัวเชื่อมต่อ 40 ขาไปยังขาหมายเลข 7 ซึ่งจะตรงกับ pin = 7 หรือ GPIO 7 ในตารางที่กรอกก่อนหน้า
9. Run และสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่หลอดไฟ LED หากหลอด LED ไม่สว่าง ขอความช่วยเหลือจากผู้ควบคุมการทดลอง
10. จับเวลาช่วงเวลาที่หลอดสว่างและดับตั้งแต่เริ่มรันโปรแกรมจนเสร็จสิ้น เพื่อหาค่าเฉลี่ยของการสว่างดับ 1 รอบ

ลองจับเวลาใช้เวลาประมาณ 11.12 วินาที ค่าเฉลี่ยในการสว่างดับ 1 รอบเท่ากับ 1.11 วินาที

J.4 โปรแกรมไฟ LED กระพริบภาษาแอสเซมบลี

1. เปิดไดเรคทอรี **/home/pi/asm** ในโปรแกรมไฟล์เมเนเจอร์
2. สร้างไดเรคทอรีใหม่ชื่อ **Lab10**
3. สร้างไฟล์ใหม่ชื่อ **Lab10.s** โดยใช้คำสั่ง **touch**
4. กรอกโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีเหล่านี้โดยใช้ editor ที่ถนัด

```
    #--------------------
    # data segment
    #--------------------
         .data
         .balign 4
intro:   .asciz  "LED blinking by wiringPi\n"
errMsg:  .asciz "Setting up problem ... Abort!\n"
pin:     .int   7
i:       .int   0
duration:.int   500
OUTPUT   = 1    @constant
    #--------------------
    # text segment
    #--------------------
        .text
        .global main
        .extern printf
        .extern wiringPiSetup
        .extern delay
        .extern digitalWrite
        .extern pinMode

main:   PUSH    {ip, lr} @push link return register on stack segment
        LDR     R0, =intro
        BL      printf
        BL      wiringPiSetup
        MOV     R1,#-1
        CMP     R0, R1
        BNE     init
        LDR     R0, =errMsg
        BL      printf
        B       done
```

```
init:
        LDR     R0, =pin
        LDR     R0, [R0]
        MOV     R1,#OUTPUT
        BL      pinMode
        LDR     R4, =i
        LDR     R4, [R4]
        MOV     R5,#10
forLoop:
        CMP     R4, R5
        BGT     done
        LDR     R0, =pin
        LDR     R0, [R0]
        MOV     R1,#1
        BL      digitalWrite
        LDR     R0, =duration
        LDR     R0, [R0]
        BL      delay
        LDR     R0, =pin
        LDR     R0, [R0]
        MOV     R1,#0
        BL      digitalWrite
        LDR     R0, =duration
        LDR     R0, [R0]
        BL      delay
        ADD     R4,#1
        B       forLoop
done:
        POP     {ip, pc} @pop return address into pc
```

5. ทำการแปลและลิงค์ Lab10.s จนกว่าจะสำเร็จ:

```
$   as -o Lab10.o Lab10.s
$   gcc -o Lab10 Lab10.o -lwiringPi
```

6. รันโปรแกรม Lab10 และสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่หลอดไฟ LED

```
$  sudo ./Lab10
```

7. จับเวลาช่วงเวลาที่หลอดสว่างและดับตั้งแต่เริ่มรันโปรแกรมจนเสร็จสิ้น เพื่อหาค่าเฉลี่ยของการสว่างดับ 1 รอบ

ลองจับเวลาใช้เวลาประมาณ 11.30 วินาที ค่าเฉลี่ยในการสว่างดับ 1 รอบเท่ากับ 1.13 วินาที

J.5 กิจกรรมท้ายการทดลอง

1. ไลบรารี libwiringPi.so ทำหน้าที่อะไร และเกี่ยวข้องกับ #include <wiringPi.h> อย่างไร
2. ประโยค $ gcc -o Lab10 Lab10.o -lwiringPi มีความหมายอย่างไร และเชื่อมโยงกับคำถามข้อที่แล้วอย่างไร
3. ฟังค์ชัน digitalWrite ใช้กับขา GPIO ในโหมดไหน โหมด OUTPUT
4. ประโยค PUSH {ip, lr} ทำหน้าที่อะไร เหตุใดจึงต้องเรียกใช้ก่อนประโยคอื่นๆ
5. ประโยค POP {ip, pc} ทำหน้าที่อะไร เหตุใดจึงต้องเรียกใช้เป็นประโยคสุดท้าย
6. สำรวจไฟล์ชื่อ wiringPi.c ในไดเรคทอรีชื่อ /home/pi/wiringPi/wiringPi/ เพื่อค้นหาตัวแปรชื่อ piGpioBase ว่า
   - ใช้งานในฟังค์ชันชื่ออะไร
   - ได้รับการตั้งค่าที่ฟังค์ชันชื่ออะไร และค่าเท่ากับเท่าไหร่
   - นำตัวแปร piGpioBase นี้ไปใช้ทำอะไรต่อได้อีก จงยกตัวอย่าง
   - หมายเลขแอดเดรส 0x2000_0000 นี้เกี่ยวข้องกับหมายเลข 0x7E00_0000 ในตารางที่ 6.4 และรูปที่ 6.16 อย่างไร
7. จงตอบคำถามจากประโยคต่อไปนี้

```
gpio = (uint32\_t *)mmap(0, BLOCK_SIZE, PROT_READ|PROT_WRITE,
                        MAP_SHARED, fd, GPIO_BASE) ;
```

   - อยู่ในฟังค์ชันชื่ออะไร
   - ตัวแปร fd มาจากไหน เกี่ยวข้องกับ ไฟล์ /mem และไฟล์ /dev/gpiomem อย่างไร
   - ฟังค์ชัน mmap() มีหน้าที่อะไร รีเทิร์นค่าอะไรกลับมา และเป็นตัวแปรชนิดใด เหตุใดจึงต้องมีประโยค (uint32_t *) นำหน้า
   - นำตัวแปร gpio นี้ไปใช้ทำอะไรต่อได้อีก จงยกตัวอย่าง
   - จงอธิบายว่าตัวแปร gpio นี้เกี่ยวข้องกับหลักการ Memory Map IO อย่างไร
8. จงตอบคำถามจากประโยคต่อไปนี้

```
GPIO_BASE   = piGpioBase + 0x00200000 ;
```

   - อยู่ในฟังค์ชันชื่ออะไร
   - ตัวแปร GPIO_BASE มีหน้าที่อะไร
   - เมื่อบวกแล้วได้ผลลัพธ์เป็นหมายเลขแอดเดรสอะไร และเกี่ยวข้องกับหมายเลข 0x7E20_0000 ในตารางที่ 6.6 อย่างไร

- นำตัวแปร GPIO_BASE นี้ไปใช้ทำอะไรต่อได้อีก จงยกตัวอย่าง
- จงอธิบายว่าตัวแปร GPIO_BASE นี้เกี่ยวข้องกับขา gpio แต่ละขาอย่างไร

9. ต่อหลอด LED เพิ่มอีก 2 ดวงรวมเป็น 3 ดวงแล้วพัฒนาโปรแกรมภาษา C เดิมให้นับเลข 0-7 และแสดงผลทางหลอด LED เป็นเลขฐานสองวนไปเรื่อยๆ

10. ใช้วงจรหลอด LED 3 ดวงที่มีอยู่และพัฒนาโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีเดิมให้นับเลข 0-7 และแสดงผลทางหลอด LED เป็นเลขฐานสองวนไปเรื่อยๆ

9. source code อยู่ใน ex9.c video อยู่ใน video_ex9.mp4

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <wiringPi.h>
int main ( void ) {
int pin1 = 0; //msb
int pin2 = 2;
int pin3 = 3; //lsb
    if (wiringPiSetup() == -1) {
        printf( "Setting up problem ... Abort!" );
        exit (1);
    }
    pinMode(pin1, OUTPUT); /* set pin=7 to Output mode */
    pinMode(pin2, OUTPUT);
    pinMode(pin3, OUTPUT);
    int i=0;
    while(1){
        digitalWrite(pin1, (i&4)>>2);
        digitalWrite(pin2, (i&2)>>1);
        digitalWrite(pin3, i&1);
        i++;
        if(i==8){
            i=0;
        }
        delay(1000);
    }
    return 0;
}

```