นนทิต สุขเจริญ 63010484
นกสร งามาหุมาศ 63010492
SEC 102

ภาคผนวก H

การทดลองที่ 8 การพัฒนาโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีขั้นสูง

การพัฒนาโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีขั้นสูง จะเน้นการพัฒนาร่วมกับภาษา C เพื่อเพิ่มศักยภาพของโปรแกรมภาษา C ให้ทำงานได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเฉพาะฟังก์ชันที่สำคัญและต้องเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์อย่างลึกซึ้ง และถ้ามีประสบการณ์การดีบักโปรแกรมภาษา C จากการทดลองที่ 5 จะยิ่งทำให้ผู้อ่านเข้าใจการทดลองนี้ได้เพิ่มขึ้น ดังนั้น การทดลองมีวัตถุประสงค์เหล่านี้

- เพื่อฝึกการดีบักโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีโดยใช้โปรแกรม GDB แบบคอมมานด์ไลน์ (Command Line)
- เพื่อพัฒนาพัฒนาโปรแกรมแอสเซมบลีโดยใช้ Stack Pointer (SP) หรือ R13
- เพื่อพัฒนาโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีร่วมกับภาษา C
- เพื่อเสริมความเข้าใจเรื่องเวอร์ชวลเมโมรีในหัวข้อที่ 5.2

H.1 ดีบักเกอร์ GDB

ดีบักเกอร์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่รันโปรแกรมที่กำลังพัฒนา เพื่อให้โปรแกรมเมอร์**ตรวจสอบ**การทำงานได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถเข้าใจการทำงานของโปรแกรมอย่างถ่องแท้ และหากโปรแกรมมีปัญหาหรือ **ดีบัก** ที่บรรทัดไหน ตำแหน่งใด ดีบักเกอร์เป็นเครื่องมือที่จะช่วยแก้ปัญหานั้นได้ในที่สุด

GDB เป็นดีบักเกอร์มาตรฐานทำงานในระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ สามารถช่วยโปรแกรมเมอร์แก้ปัญหาของโปรแกรมที่พัฒนาจากภาษา C/C++ รวมถึงภาษาแอสเซมบลีของซีพียูนั้นๆ เช่น แอสเซมบลีของ ARM บนบอร์ด Pi นี้

ผู้อ่านสามารถย้อนกลับไปศึกษาการทดลองที่ 5 หัวข้อ E.2 และการทดลองที่ 6 หัวข้อ F.2 อีกรอบ เพื่อสังเกตรายละเอียดการสร้างโปรเจ็คท์ได้ว่า เราได้เลือกใช้ GDB เป็นดีบักเกอร์ ผู้อ่านสามารถเรียนรู้การดีบักโปรแกรมแอสเซมบลี พร้อมๆ กับทำความเข้าใจคำสั่งใน GDB ไปพร้อมๆ กัน ดังนี้

1. เปิดโปรแกรม Terminal และย้ายไดเรกทอรีไปที่ **/home/pi/asm**
2. สร้างไดเรกทอรีใหม่ชื่อ **Lab8**
3. สร้างไฟล์ชื่อ **Lab8_1.s** ด้วยเท็กซ์อีดีเตอร์ nano เพื่อกรอกคำสั่งภาษาแอสเซมบลี ต่อไปนี้

```
        .global main
main:
        MOV  R0, #0
        MOV  R1, #1
        B    _continue_loop
 _loop:
        ADD  R0, R0, R1
 _continue_loop:
        CMP  R0, #9
        BLE  _loop
end:
      BX LR
```

4. สร้าง **makefile** แล้วกรอกประโยคคำสั่งต่อไปนี้

```
debug: Lab8_1
	as -g -o Lab8_1.o Lab8_1.s
	gcc -o Lab8_1 Lab8_1.o
	gdb Lab8_1
```

TAB ONLY

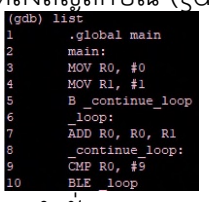
บันทึกไฟล์และออกจากโปรแกรม nano อีดิเตอร์

5. รันคำสั่งต่อไปนี้ เพื่อทดสอบว่า makefile ถูกต้องหรือไม่ หากถูกต้องโปรแกรม Lab8_1 จะรันใต้ GDB เพื่อให้ผู้อ่านดีบักโปรแกรม

```
$ make debug
```

6. พิมพ์คำสั่ง list หลังสัญลักษณ์ (gdb) เพื่อแสดงคำสั่งภาษาแอสเซมบลีที่จะ execute ทั้งหมด

```
(gdb) list
```



ค้นหาตำแหน่งของคำสั่ง CMP R0, #9 ว่าอยู่ ณ บรรทัดที่เท่าไหร่ สมมติให้เป็นตัวแปร **x** เพื่อใช้ประกอบการทดลองถัดไป → บรรทัดที่ 9

7. ตั้งค่าเบรกพอยน์เพื่อหยุดการรันโปรแกรมชั่วคราว และเปิดโอกาสให้โปรแกรมเมอร์สามารถ**ตรวจสอบ**ค่าของรีจิสเตอร์ต่างๆ ได้ โดยใช้คำสั่ง

```
(gdb) b x
```

โดย **x** คือ หมายเลขบรรทัดที่คำสั่ง CMP R0, #9 ตั้งอยู่

8. รันโปรแกรม โดยพิมพ์คำสั่งต่อไปนี้ บันทึกและอธิบายผลลัพธ์

```
(gdb) run
```

```
(gdb) b 9
Breakpoint 1 at 0x103e4: file Lab8_1.s, line 10.
```

```
(gdb) run
Starting program: /home/t63010484/asm/Lab8/Lab8_1

Breakpoint 1, _continue_loop () at Lab8_1.s:10
10      BLE _loop
```

จะได้ผลตอบรับจาก GDB ดังนี้

```
Breakpoint 1, _continue_loop () at Lab8_1.s: x
```

∴ โปรแกรมหยุดทำงานที่ Breakpoint ที่ 1

โปรดสังเกตค่า **x** เป็นหมายเลขบรรทัดที่ตรงกับคำสั่งใด ซึ่งก็คือบรรทัดที่ 10

9. โปรดสังเกตว่า (gdb) ปรากฏขึ้นแสดงว่าโปรแกรมหยุดที่เบรกพอยน์แล้ว พิมพ์คำสั่ง **(gdb) info r** เพื่อแสดงค่าภายในรีจิสเตอร์ต่างๆ ทั้งหมด และบันทึกค่า**ฐานสิบหก**ของรีจิสเตอร์เหล่านี้ **r0, r1, r9, sp, pc, cpsr** หลังรันโปรแกรม เพื่อเปรียบเทียบในลำดับถัดไป

```
(gdb) info r
r0             0x0        0
r1             0x1        1
r2             0x7effefec 2130702316
r3             0x10408    66568
r4             0x10428    66600
r5             0x0        0
r6             0x102e0    66272
r7             0x0        0
r8             0x0        0
r9             0x0        0
r10            0x76fff000 1996484608
r11            0x0        0
r12            0x7effef10 2130702096
sp             0x7effee90 0x7effee90
lr             0x76e7a678 1994892920
pc             0x1041c    0x1041c <_continue_loop+4>
cpsr           0x80000010 -2147483632
```

```
(gdb) info r
r0             0x0            0
r1             0x1            1
r2             0xbefff5bc     3204445628
r3             0x103d0        66512
r4             0x0            0
r5             0x103ec        66540
r6             0x102e0        66272
r7             0x0            0
r8             0x0            0
r9             0x0            0
r10            0xb6fff000     3070226432
r11            0x0            0
r12            0xbefff4e0     3204445408
sp             0xbefff468     0xbefff468
lr             0xb6e6e718     -1226381544
pc             0x103e4        0x103e4 <_continue_loop+4>
cpsr           0x80000010     -2147483632
fpscr          0x0            0
```

จงตอบคำถามต่อไปนี้ประกอบความเข้าใจ

- อธิบายรายงานบนหน้าจอว่าคอลัมน์แต่ละคอลัมน์มีความหมายอย่างไร และแตกต่างกับหน้าจอของผู้อ่านอย่างไร

column 1	column 2	column 3
ชื่อ Register	ค่า Register ใน รูปแบบฐาน 16	ค่า Register ใน รูปแบบฐาน 10

#

- เหตุใดรีจิสเตอร์ **cpsr** มีค่าเป็นเลขฐานสิบในคอลัมน์ขวาสุดมีค่าติดลบ หมายเหตุ ศึกษาเรื่องเลขจำนวนเต็มฐานสองชนิดมีเครื่องหมาย แบบ 2's Complement ในหัวข้อที่ 2.2.2

เพราะ -2147483632 ถ้าแปลง = 10000000000000000000000010000 แบบ 2's Complement bit ซ้ายสุดเป็น Negative เพราะผลลัพธ์มีค่าน้อยกว่า หรือติดลบ

10. พิมพ์คำสั่ง **(gdb) c**[ontinue] เพื่อรันโปรแกรมต่อไปจนกว่าจะวนรอบกลับมาที่เบรกพอยน์ที่ตั้งไว้

```
(gdb) c
Continuing.

Breakpoint 1, _continue_loop () at Lab8_1.s:10
10      BLE _loop
```

11. พิมพ์คำสั่ง **(gdb) info r** เพื่อแสดงค่าภายในรีจิสเตอร์ต่างๆ ทั้งหมด และบันทึกค่าของรีจิสเตอร์เหล่านี้ **r0, r1, r9, sp, pc, cpsr** เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงเทียบกับข้อ 9

```
(gdb) info r
r0             0x1             1
r1             0x1             1
r2             0xbefff5bc      3204445628
r3             0x103d0         66512
r4             0x0             0
r5             0x103ec         66540
r6             0x102e0         66272
r7             0x0             0
r8             0x0             0
r9             0x0             0
r10            0xb6fff000      3070226432
r11            0x0             0
r12            0xbefff4e0      3204445408
sp             0xbefff468      0xbefff468
lr             0xb6e6e718      -1226381544
pc             0x103e4         0x103e4 <_continue_loop+4>
cpsr           0x80000010      -2147483632
fpscr          0x0             0
```

12. เริ่มต้นการทดลองโดยพิมพ์คำสั่งต่อไปนี้เพื่อหาว่า เลเบล _loop ตรงกับหน่วยความจำตำแหน่งใด

```
(gdb) disassemble _loop
```

บันทึกผลที่ได้โดย หมายเลขซ้ายสุด คือ แอดเดรสในหน่วยความจำ ที่คำสั่งนั้นบรรจุอยู่ หมายเลขตำแหน่งถัดมา คือ จำนวนไบต์นับจากจุดเริ่มต้นของชื่อเลเบลนั้น แล้ว**ตรวจสอบ**ว่าเลเบล main อยู่ห่างจากตำแหน่งเริ่มต้นของโปแกรมกี่ไบต์

```
Dump of assembler code for function _loop:
   0x00010414 <+0>: add r0, r0, r1
End of assembler dump.
```

```
(gdb) disassemble _loop
Dump of assembler code for function _loop:
   0x000103dc <+0>:     add     r0, r0, r1
End of assembler dump.
```

13. พิมพ์คำสั่ง **(gdb) c**[ontinue] เพื่อรันโปรแกรมต่อไปจนกว่าจะวนรอบกลับมาที่เบรกพอยน์ที่ตั้งไว้อีกรอบ

```
(gdb) c
Continuing.

Breakpoint 1, _continue_loop () at Lab8_1.s:10
10      BLE _loop
```

14. คำสั่ง **x/ [count] [format] [address]** แสดงค่าใน หน่วยความจำ ณ ตำแหน่ง address เป็นต้นไป เป็น จำนวน /count ตาม format ที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น **x/10i main** คือ แสดงค่าในหน่วยความจำ ณ ตำแหน่งเลเบล main จำนวน 10 ค่าตามรูปแบบ instruction ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
(gdb) x/10i main
   0x10408 <main>: mov r0, #0
   0x1040c <main+4>: mov r1, #1
   0x10410 <main+8>: b 0x10418 <_continue_loop>
   0x10414 <_    >: add r0, r0, r1
   0x10418 <_continue_loop>: cmp r0, #9
=> 0x1041c <_continue_loop+4>: ble 0x10414 <_    >
   0x10420 <end>: mov r7, #1
   0x10424 <end+4>: svc 0x00000000
   0x10428 <__libc_csu_init>: push {r4, r5, r6, r7, r8, r9, r10, lr}
   0x1042c <__libc_csu_init+4>: mov r7, r0
```

```
(gdb) x/10i main
   0x103d0 <main>:      mov     r0, #0
   0x103d4 <main+4>:    mov     r1, #1
   0x103d8 <main+8>:    b       0x103e0 <_continue_loop>
   0x103dc <_loop>:     add     r0, r0, r1
   0x103e0 <_continue_loop>:    cmp     r0, #9
=> 0x103e4 <_continue_loop+4>:  ble     0x103dc <_loop>
   0x103e8 <end>:       bx      lr
   0x103ec <__libc_csu_init>:   push    {r4, r5, r6, r7, r8, r9, r10, lr}
   0x103f0 <__libc_csu_init+4>: mov     r7, r0
   0x103f4 <__libc_csu_init+8>:
    ldr r6, [pc, #72]   ; 0x10444 <__libc_csu_init+88>
```

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- เติมตัวอักษรที่เว้นว่างไว้จากหน้าจอของผู้อ่านในเครื่องหมาย <_ > สองตำแหน่ง _loop
- อธิบายว่า หมายเลขที่มาแทนที่ <_ > ได้อย่างไร หมายเลขที่มาแทนที่ คือ ค่า Address ของคำสั่งนั้น
- โปรดสังเกตและอธิบายว่าเครื่องหมายลูกศร => ด้านซ้ายสุดหน้าบรรทัดคำสั่ง หมายถึงอะไร
  คือ ตัวชี้ว่า ใน program ไม่ run code บรรทัดไหน

15. คำสั่ง **s**[tep] **i** ระหว่างที่เบรกการรันโปรแกรม ผู้ใช้สามารถสั่งให้โปรแกรมทำงานต่อเพียง **i** คำสั่ง เพื่อ**ตรวจสอบ**

16. คำสั่ง **n**[ext] **i** ทำงานคล้ายคำสั่ง **step i** แต่ถ้าคำสั่งต่อไปที่จะทำงานเป็นการเรียกฟังก์ชัน คำสั่งนี้เรียกใช้ฟังก์ชันนั้นจนสำเร็จ แล้วจึงเบรกให้ผู้ใช้**ตรวจสอบ**

17. พิมพ์คำสั่ง **i**[nfo] **ib**[reak] เพื่อแสดงรายการเบรกพอยน์ทั้งหมดที่ตั้งไว้ก่อนหน้า ดังนี้

```
(gdb)i b
Num      Type           Disp Enb Address    What
1        breakpoint     keep y   0x0001041c Lab8_1.s:_
breakpoint already hit _ times
```

```
(gdb) i b
Num      Type           Disp Enb Address    What
1        breakpoint     keep y   0x000103e4 Lab8_1.s:10
         breakpoint already hit 4 times
```

ผู้อ่านจะต้องทำความเข้าใจรายงานที่ได้บนหน้าจอ โดยเฉพาะคอลัมน์ Address และ What โดยเติมตัวอักษรลงในช่องว่าง _ ทั้งสองช่อง

18. คำสั่ง **d**[elete] b[reakpoints] *number* ลบการตั้งเบรกพอยน์ที่บรรทัด number ที่ตั้งไว้ก่อนหน้า หากผู้อ่านต้องการลบเบรกพอยน์ทั้งหมดพร้อมกันโดยพิมพ์

```
(gdb)d
Delete all breakpoints? (y or n)
```

แล้วตอบ y เพื่อยืนยัน

19. พิมพ์คำสั่ง **(gdb) c** เพื่อรันโปรแกรมต่อไปจนเสร็จสิ้นจะได้ผลลัพธ์ต่อไปนี้

```
(gdb) c
Continuing.
[Inferior 1 (process 1688) exited with code 012]
```

```
(gdb) c
Continuing.
[Inferior 1 (process 6770) exited with code 012]
```

20. พิมพ์คำสั่งต่อไปนี้เพื่อออกจากโปรแกรม GDB

```
(gdb) q
```

H.2 การใช้งานสแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer)

ตำแหน่งของหน่วยความจำบริเวณที่เรียกว่า **สแต็กเซ็กเมนต์** (Stack Segment) จากรูปที่ 3.16 สแต็กเซ็กเมนต์ตั้งในบริเวณแอดเดรสสูง (High Address) หน้าที่เก็บค่าข้อมูลของตัวแปรชนิด**โลคอล** (Local Variable) รับค่าพารามิเตอร์ระหว่างฟังก์ชัน กรณีที่มีจำนวนเกิน 4 ตัว พักเก็บค่าของรีจิสเตอร์ที่สำคัญๆ เช่น LR เป็นต้น

สแต็กพอยน์เตอร์ คือ รีจิสเตอร์ R13 มีหน้าที่เก็บแอดเดรส**ตำแหน่งบนสุดของสแต็ก** (Top of Stack: TOS) ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่เกิดการ **PUSH** และ **POP** ข้อมูลเข้าและออกจากสแต็กตามลำดับ โปรแกรมเมอร์สามารถจินตนาการได้ว่า **สแต็ก** คือ กองสิ่งของที่วางซ้อนกันโดยโปรแกรมเมอร์ และสามารถหยิบสิ่งของออก (POP) หรือวาง (PUSH) ของที่ชั้นบนสุดเท่านั้น โดยเราเรียกกองสิ่งของ (ตัวแปรโลคอลและอื่นๆ) นี้ว่า **สแต็กเฟรม** ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อที่ 3.3.3 เราสามารถทำความเข้าใจการทำงานของสแต็กแบบง่ายๆ ได้ดังนี้

สแต็กพอยน์เตอร์ คือ หมายเลขชั้นสิ่งของซึ่งตำแหน่งจะลดลง/เพิ่มขึ้น เมื่อโปรแกรมเมอร์ใช้คำสั่ง PUSH/POP ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 4.5 ทั้งนี้เราสามารถอ้างอิงจากเวอร์ชวลเมโมรีของระบบลินุกซ์ ในรูปที่ 3.16 และรูปที่ 5.2 ประกอบ

คำสั่ง **STM** (Store Multiple) ทำหน้าที่ PUSH ข้อมูลหรือค่าของรีจิสเตอร์จำนวนหนึ่งลงบนสแต็ก ณ ตำแหน่ง TOS คำสั่ง **LDM** (Load Multiple) ทำหน้าที่ POP ข้อมูลออกจากสแต็ก ณ ตำแหน่ง TOS มาเก็บในรีจิสเตอร์จำนวนหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ TOS เป็นไปได้สองทิศทาง คือ เพิ่มขึ้น (Ascending)/ลดลง (Descending). ดังนั้น คำสั่ง STM/LDM สามารถผสมกับทิศทางและลำดับการกระทำ คือ ก่อน (Before) /หลัง (After) รวมเป็น 8 แบบ ดังนี้

- **LDMIA/STMIA** : IA ย่อจาก Increment After
- **LDMIB/STMIB** : IB ย่อจาก Increment Before
- **LDMDA/STMDA** : DA ย่อจาก Decrement After
- **LDMDB/STMDB** : DB ย่อจาก Decrement Before

คำ **Increment/Decrement** หมายถึง การเพิ่ม/ลดค่าของรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องโดยมักใช้งานร่วมกับ รีจิสเตอร์ SP คำ **after/before** หมายถึง ก่อน/หลังการปฏิบัติ (Execute) ตามคำสั่งนั้น ยกตัวอย่าง การใช้งานคำสั่งเพื่อ PUSH รีจิสเตอร์ลงในสแต็กโดยใช้ STMDB และ POP ค่าจากสแต็กจะคู่กับคำสั่ง LDMIA ความหมาย คือ สแต็กจะเติบโตในทิศทางที่แอดเดรสลดลง (Decrement Before) ซึ่งเป็นที่นิยมและตรงกับรูปการจัดวางเวอร์ชวลเมโมรีหรือหน่วยความจำเสมือนในรูปที่ 3.16 ผู้อ่านสามารถทบทวนเรื่องนี้ในหัวข้อที่ 5.2

1. สร้างไฟล์ **Lab8_2.s** ตามโค้ดต่อไปนี้ ผู้อ่านสามารถข้ามประโยคคอมเมนต์ได้ เมื่อทำความเข้าใจแต่ละคำสั่งแล้ว

```
        .global main
main:
        MOV R1, #1
        MOV R2, #2

        @ Push (store) R1 onto stack, then subtract SP by 4 bytes
        @ The ! (Write-Back symbol) updates the register SP
```

```
        STR R1, [sp, #-4]!
        STR R2, [sp, #-4]!

        @ Pop (load) the value and add 4 to SP
        LDR R0, [sp], #+4
        LDR R0, [sp], #+4
end:
        BX LR
```

2) เป็นการ Push ข้อมูลไปเก็บใน Stack แล้วทำการ Pop ข้อมูลออกมา เพื่อไปเก็บใน Register ที่ต้องการ → 1 #

```
t63010484@Pi432b:~/asm/Lab8 $ ./Lab8_2
t63010484@Pi432b:~/asm/Lab8 $ echo $?
1
```

2. รันโปรแกรม บันทึกและอธิบายผลลัพธ์

3. สร้างไฟล์ **Lab8_3.s** ตามโค้ดต่อไปนี้ ผู้อ่านสามารถข้ามประโยคคอมเมนต์ได้ เมื่อทำความเข้าใจแต่ละคำสั่งแล้ว

- สร้าง File
  กด o
  make Lab8_2.s
  ./Lab8_2
  echo $?

```
        .global main
main:
        MOV R1, #0
        MOV R2, #1
        MOV R4, #2
        MOV R5, #3

        @ SP is subtracted by 8 bytes to save R4 and R5, respectively.
        @ The ! (Write-Back symbol) updates SP.
        STMDB  SP!, {R4, R5}

        @ Pop (load) the values and increment SP after that
        LDMIA  SP!, {R1, R2}
        ADD    R0, R1, #0
        ADD    R0, R0, R2

end:
        BX LR
```

4) เป็นการ Push ข้อมูลไปเก็บใน Stack แล้วทำการ Pop ข้อมูลออกมา เพื่อไปเก็บใน Register ที่ต้องการ → 5 #

```
t63010484@Pi432b:~/asm/Lab8 $ ./Lab8_3
t63010484@Pi432b:~/asm/Lab8 $ echo $?
5
```

4. รันโปรแกรม บันทึกและอธิบายผลลัพธ์

5. ค้นคว้าการประยุกต์ใช้งานคำสั่ง STM/LDM สำหรับการทำงานของระบบปฏิบัติการ

H.3 การพัฒนาโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีร่วมกับภาษา C

การพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C สามารถเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ และทำงานได้รวดเร็วใกล้เคียงกับภาษาแอสเซมบลี แต่การเสริมการทำงานของโปรแกรมภาษา C ด้วยภาษาแอสเซมบลียังมีความจำเป็น โดยเฉพาะโปรแกรมที่เรียกว่า **ดีไวซ์ไดรเวอร์** (Device Driver) ซึ่งเป็นโปรแกรมขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ที่ต้องการความรวดเร็วและประสิทธิภาพสูง การทดลองนี้จะแสดงให้ผู้อ่านเห็นการเชื่อมต่อฟังก์ชันภาษาแอสเซมบลีกับภาษา C อย่างง่าย

1. เปิดโปรแกรม CodeBlocks
2. สร้างโปรเจ็คท์ Lab8_4 ภายใต้ไดเรกทอรี **/home/pi/asm/Lab8** cd asm cd Lab8
3. สร้างไฟล์ชื่อ add_s.s และป้อนคำสั่งต่อไปนี้ nano add_s.s

```
      .global add_s
add_s:
ADD R0, R0, R1
BX LR
```

4. เพิ่มไฟล์ add_s.s ในโปรเจ็คท์ Lab8_4 ที่สร้างไว้ก่อนหน้า nano main.c nano makefile
5. สร้างไฟล์ชื่อ main.c และป้อนคำสั่งต่อไปนี้

สร้าง makefile ดังนี้

```
Lab8_4: main.c add_s.s
	gcc -o Lab8_4 main.c add_s.s
```

เพิ่มประโยคนี้ ระหว่าง include กับ int main
extern int add_s(int x, int y);

```
#include <stdio.h>
int main(){
    int a = 16;
    int b = 4;
    int i = add_s(a, b);
    printf("%d + %d = %d \n", a, b, i);
    return 0;
  }
```

make Lab8_4
./Lab8_4

```
t63010484@Pi432b:~/asm/Lab8 $ make Lab8_4
gcc -o Lab8_4 main.c add_s.s
t63010484@Pi432b:~/asm/Lab8 $ ./Lab8_4
16 + 4 = 20
t63010484@Pi432b:~/asm/Lab8 $
```

6. ทำการ Build และแก้ไขหากมีข้อผิดพลาดจนสำเร็จ
7. Run และสังเกตการเปลี่ยนแปลง
8. อธิบายว่าเหตุใดการทำงานจึงถูกต้อง ฟังก์ชัน add_s รับข้อมูลทางรีจิสเตอร์ตัวไหนบ้างและรีเทิร์นค่าที่คำนวณเสร็จแล้วทางรีจิสเตอร์อะไร

∴ รับข้อมูลจาก Register R0, R1 และ Return ค่าที่คำนวณเสร็จทาง Register R0 โดย Return ออกมาจาก function

9. อธิบายว่าเหตุใดฟังก์ชัน add_s จึงไม่ต้องแบ็กอัปค่าของรีจิสเตอร์ LR

ในทางปฏิบัติ การบวกเลขในภาษา C สามารถทำได้โดยใช้เครื่องหมาย + โดยตรง และทำงานได้รวดเร็วกว่า การทดลองตัวอย่างนี้เป็นการนำเสนอว่าผู้อ่านสามารถเขียนโปรแกรมอย่างไรที่จะบรรลุวัตถุประสงค์เท่านั้น ฟังก์ชันภาษาแอสเซมบลีที่จะลิงก์เข้ากับโปรแกรมหลักที่เป็นภาษา C ควรจะมีอรรถประโยชน์มากกว่านี้ และเชื่อมโยงกับฮาร์ดแวร์โดยตรงได้ดีกว่าคำสั่งในภาษา C เช่น ดีไวซ์ไดรเวอร์

H.4 กิจกรรมท้ายการทดลอง

1. จงดีบักโปรแกรม Lab8_1 ด้วย GDB พร้อมกันจำนวน 2 Terminal เพื่อแสดงค่าของรีจิสเตอร์ PC ที่รันคำสั่งแรกของโปรแกรม Lab8_1 ในทั้งสองหน้าต่าง และเปรียบเทียบค่า PC ว่าเท่ากันหรือแตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

2. หากค่าของรีจิสเตอร์ PC ทั้งสองค่าในข้อ 1 ตรงกัน จงใช้ความรู้เรื่องเวอร์ชวลเมโมรีหรือหน่วยความจำเสมือนในหัวข้อ 5.2 เพื่อตอบคำถาม

3. จงใช้โปรแกรม GDB เพื่อแสดงรายละเอียดของสแต็กระหว่างที่รันโปรแกรม Lab8_2 และบอกลำดับการ PUSH และการ POP ที่เกิดขึ้นภายในโปรแกรมจากแต่ละคำสั่ง

4. จงใช้โปรแกรม GDB เพื่อแสดงรายละเอียดของสแต็กระหว่างที่รันโปรแกรม Lab8_3 และบอกลำดับการ PUSH และการ POP ที่เกิดขึ้นภายในโปรแกรมจากแต่ละคำสั่ง

5. จงนำโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีสำหรับคำนวณค่า mod ในการทดลองที่ 7 มาเรียกใช้ผ่านโปรแกรมภาษา C

6. จงนำโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีสำหรับคำนวณค่า GCD ในการทดลองที่ 7 มาเรียกใช้ผ่านโปรแกรมภาษา C

7. จงดีบักโปรแกรมภาษา C บนโปรแกรม Codeblocks ที่พัฒนาในข้อ 2 และ 3 เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของ PC ก่อน ระหว่าง และหลังเรียกใช้ฟังก์ชันภาษา Assembly ว่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร และตรงกับทฤษฎีที่เรียนหรือไม่ อย่างไร

8. เครื่องหมาย -g ใน **makefile** ต่อไปนี้

```
debug: Lab8_1
        as -g -o Lab8_1.o Lab8_1.s
```

มีความหมายอย่างไร

1. จงดีบักโปรแกรม Lab8_1 ด้วย GDB พร้อมกันจำนวน 2 Terminal เพื่อแสดงค่าของรีจิสเตอร์ PC ที่รันคำสั่งแรกของโปรแกรม Lab8_1 ในทั้งสองหน้าต่าง และเปรียบเทียบค่า PC ว่าเท่ากันหรือแตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

Ans เหมือนกัน

cd asm
cd Lab8
make debug > b 9 > run > info r

set breakpoint

t63010484@Pi432b: ~/asm/Lab8

```
Starting program: /home/t63010484/asm/Lab8/Lab8_1

Breakpoint 1, _continue_loop () at Lab8_1.s:10
10      BLE _loop
(gdb) info r
r0             0x0                 0
r1             0x1                 1
r2             0xbefff5bc          3204445628
r3             0x103d0             66512
r4             0x0                 0
r5             0x103ec             66540
r6             0x102e0             66272
r7             0x0                 0
r8             0x0                 0
r9             0x0                 0
r10            0xb6fff000          3070226432
r11            0x0                 0
r12            0xbefff4e0          3204445408
sp             0xbefff468          0xbefff468
lr             0xb6e6e718          -1226381544
pc             0x103e4             0x103e4 <_continue_loop+4>
cpsr           0x80000010          -2147483632
fpscr          0x0                 0
(gdb)
```

t63010484@Pi432b: ~/asm/Lab8

```
Starting program: /home/t63010484/asm/Lab8/Lab8_1

Breakpoint 1, _continue_loop () at Lab8_1.s:10
10      BLE _loop
(gdb) info r
r0             0x0                 0
r1             0x1                 1
r2             0xbefff5bc          3204445628
r3             0x103d0             66512
r4             0x0                 0
r5             0x103ec             66540
r6             0x102e0             66272
r7             0x0                 0
r8             0x0                 0
r9             0x0                 0
r10            0xb6fff000          3070226432
r11            0x0                 0
r12            0xbefff4e0          3204445408
sp             0xbefff468          0xbefff468
lr             0xb6e6e718          -1226381544
pc             0x103e4             0x103e4 <_continue_loop+4>
cpsr           0x80000010          -2147483632
fpscr          0x0                 0
(gdb)
```

2. หากค่าของรีจิสเตอร์ PC ทั้งสองค่าในข้อ 1 ตรงกัน จงใช้ความรู้เรื่องเวอร์ชวลเมโมรีหรือหน่วยความจำเสมือนในหัวข้อ 5.2 เพื่อตอบคำถาม

Ans ค่า PC เท่ากัน

เพราะ run program เดียวกัน และ set จุด breakpoint ที่ตำแหน่งที่เก็บอยู่มี address pc ที่เหมือนกัน