系統程式-課程筆記

- 指令

gcc sum.c –o sum	用 gcc 編譯器去編譯 sum.c 程式，輸出一個執行檔 sum
./sum	執行 sum

- 把 codeblocks 編譯器加進 vs code：

1. 找到資料夾.....codeblocks\MinGW\bin 並複製路徑
2. 去控制台，選擇系統及安全性->系統->進階系統設定
3. 環境變數，選擇系統變數的 path->新增並貼上路徑->重開 vs code

- hash 雜湊：把一個字串用固定的方式轉成一種數字

ex:

```
usigned int h = 37
h = h*147 + *p;      //*p 是 ASCII 碼
hash( )=37   hash(h) = 5543   //5543=37*147+104(h 的 ASCII)
hash(he) = 814922 = 5543*147+101     //e 是 101 的 ASCII
```

04-map

(main.c)循序搜尋

mapNew(&jMap, 17);

呼叫 mapNew： 建立一個大小為 17 的表格，變數名為 jmap

jMap.table = jList;： 把 jList 塞進去

jMap.top = 8;： 有 8 個元素

mapLookup(&jMap, "JLE");： 在 jMap 裡尋找”JLE”結構

(map.c)

map->size = size;： 在 main.c 裡設為 17，東西不能塞超過 17 個

mapFind： 在 map 陣列裡找

生成語法

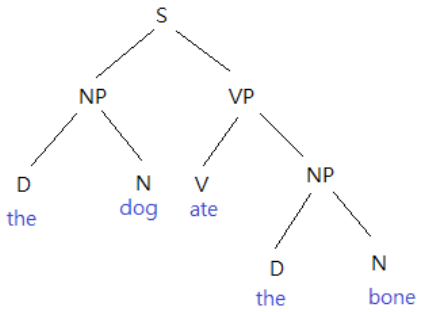
S	=	N	Y
句子	=	名詞	動詞

N = cat | dog　　|:or 的意思
V = run | eat
N->dog , V->run 產生 dog run

- BNF 語法

S = NP VP　　句子 = 名詞子句 + 動詞子句
NP = D N　　名詞子句 = 定詞 + 名詞
VP = V NP　　動詞子句 = 動詞 + 名詞子句

語法樹：



E = F([+ -])*
E:運算式　F:Factor ( )*:可出現 0 次以上
F = Number | ‘ (‘ E ‘) ‘
//E 只能寫 0~9 ex:’ 3 + 5 ‘

運算式編譯器 (exp0)

ex:

E = F([+ -])*　　//假設輸入’ 3 + 5 ‘
F = Number | ‘ (‘ E ‘) ‘
parse: 3 + 5
結果：
t0 = 3　　//t0 是一個暫存器
t1 = 5　　//t1 存 5
t2 = t0 + t1　//t2 = t0 + t1 = 3 + 5，最後產生的東西放在 t2

部分程式碼註解：

// 取得目前字元

```
char ch() {
  char c = tokens[tokenIdx];
  return c;
}
```

// 取得目前字元，同時進到下一格

```
char next() {
  char c = ch();
  tokenIdx++;
  return c;
}
```

// ex: isNext("+-") 用來判斷下一個字元是不是 + 或 -

```
int isNext(char *set) {
  char c = ch();
  return (c!='\0' && strchr(set, c)!=NULL);
}
```

// 產生下一個臨時變數的代號， ex: 3 代表 t3。

```
int nextTemp() {
  static int tempIdx = 0;
  return tempIdx++;
}
```

// F = Number | '(' E ')'

```
int F() {
  int f;
  char c = ch();
  if (isdigit(c)) {
    next(); // skip c
    f = nextTemp();
    printf("t%d=%c\n", f, c);
  } else if (c=='(') { // '(' E ')'
    next();
    f = E();
    assert(ch()==')');
    next();
  } else {
    error("F = (E) | Number fail!");
  }
  return f;
}
```

// E = F ([+-] F)*

```c
int E() {
  int i1 = F();
  while (isNext("+-")) {
    char op=next();
    int i2 = F();
    int i = nextTemp();
    printf("t%d=t%d%ct%d\n", i, i1, op, i2);
    i1 = i;
  }
  return i1;
}
```

輸入指令：gcc exp0.c –o exp0： 編譯出一個執行檔 exp0.exe

co108a > sp > code > c > 02-compiler > 00-exp0 > C EE.c

```c
#include <stdio.h>
void F();

// E = F
void E() {
  printf("E started\n");
  // E();
  F();
  printf("E finished\n");
}

// F = 'F'
void F() {
  printf("  F started\n");
  printf("    F\n");
  printf("  F finished\n");
}

int main() {
  E();
}
```

E 印出 E started
E 呼叫了 F，此 F 就是下面的 F，但 F 比後面定義，但在前面就呼叫了，所以前面要加一個 void F ( )

主程式呼叫一個 E

結果：

E started
F started
F finished
E finished

```c
void parse(char *str) {
  tokens = str;
  E();
}

int main(int argc, char * argv[]) {
  printf("argv[0]=%s argv[1]=%s\n", argv[0], argv[1]);
  printf("=== EBNF Grammar =====\n");
  printf("E=F ([+-] F)*\n");
  printf("F=Number | '(' E ')'\n");
  printf("==== parse:%s ========\n", argv[1]);
  parse(argv[1]);
}
```

parse(argv[1]); //把 argv[1]傳進 parse 函數

arg : 參數 argc : 參數個數 argv : 參數變數，陣列

argv[1] : 第一個參數

./lexer 第 0 個參數 sum.c 第一個參數

• 若輸入./exp0 ‘ x + 5 – y ‘就會編譯中間碼

#t0 = x , @x (變數), D = M / @5 (數字), D =A , #t1 = 5

exp1

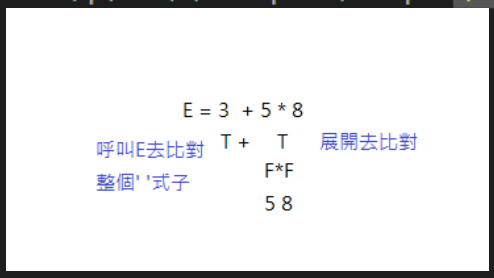
```c
printf("E=T ([+-] T)*\n");
printf("T=F ([*/] F)*\n");
```

越下層的運算，優先序越高

執行./exp1 '3+5*8'

結果：

```
PS C:\Users\user\Desktop\110710519\co108a\sp\code\c\02-compiler\01-exp1> ./exp1 '3+5*8'
=== EBNF Grammar =====
E=T ([+-] T)*
T=F ([*/] F)*
F=Number | Id | '(' E ')'
==== parse:3+5*8 ========
t0=3
t1=5
t2=8
t3=t1*t2
t4=t0+t3
```



Compiler.c 語法

PROG = STMTS　　一個程式就是一堆陳述
BLOCK = { STMTS }　一個區塊就是有{ }中間加一堆陳述
STMTS = STMT*　　STMT 是一堆 0 次以上的 STMT
STMT = WHILE / BLOCK / ASSIGN
一個陳述有可能是 while 迴圈/BLOCK 區塊/ASSIGN 指定
WHILE = while (E) STMT
一個 while 迴圈是用 while 開頭，再接(運算式)，最後陳述
ASSIGN = id = ' = ' E 一個指定是一個變數名稱，他等於一個運算式
E = F (OP E)*
F = (E) | Number | ID

05-compiler-run

執行指令：
minge32-make　：編譯原始碼的建置工具
./complier test/sum.c –ir –run

只打 –ir 代表會輸出中間碼但不執行
若加上 –run 代表除了輸出中間碼，還會執行

irvm.c 裡的 trace = printf 印出指令 = emit
*xxxx.c 檔裡面放程式碼　xxxx.h 檔裡面放標頭，放 define 的東西

```
// while (E) STMT
void WHILE() {
  int whileBegin = nextLabel();
  int whileEnd = nextLabel();
  irEmitLabel(whileBegin);
  // emit("(L%d)\n", whileBegin);
  skip("while");
  skip("(");
  int e = E();
  irEmitIfNotGoto(e, whileEnd);
  // emit("goif T%d L%d\n", whileEnd, e);
  skip(")");
  STMT();
  irEmitGoto(whileBegin);
  // emit("goto L%d\n", whileBegin);
  irEmitLabel(whileEnd);
  // emit("(L%d)\n", whileEnd);
}
```

irEmitLabel：
本來是直接 emit，變成直接呼叫 irEmitLabel。目的是讓它格式統一，可以存在陣列裡。

```
#define emit printf

extern void irEmitArg(int t1) ;
extern void irEmitCall(char *fname, int t1);
extern void irEmitAssignTs(int t, char *s);
extern void irEmitAssignSt(char *s, int t);
extern void irEmitOp2(int t, int p1, char *op, int p2);
extern void irEmitLabel(int label);
extern void irEmitGoto(int label);
extern void irEmitIfGoto(int t, int label);
extern void irEmitIfNotGoto(int t, int label);
extern void irDump();
```

ir.h 裡面定義的東西

```
typedef struct {
  IrType type;
  int t, t1, t2, label;
  char *s, *op;
} IR;
```

t,t1,t2:臨時參數 lable:標記代號
op:做什麼動作。Ex:加法 *s:目標參數

整個結構會儲存成一個陣列，放在 ir[ ];裡面

```
void irEmitAssignTs(int t, char *s) {
  irNew((IR) {.type=IrAssignTs, .op="t=s", .t=t, .s=s});
}
```

IrAssignTs：t = sum 之類的 t:取得代號 s:取得名字

```
void irDump() {
  printf("=======irDump()==========\n");
  for (int i=0; i<irTop; i++) {
    printf("%02d: ", i);
    irPrint(&ir[i]);
  }
}
```

irDump:把中間碼全部印出來

irvm.c:用來執行中間碼的程式

```
if (eq(op, "s=t")) {     //如果是 s=t 這樣的指令
   int *vp = varLookup(p->s);
   *vp = t[p->t];    //先把 t 取出來，再塞到新的變數
   trace("%s = t%d (%d)\n", p->s, p->t, *vp);     //印出來
 }
```

檔案間的關係圖：

```
main.c => lexer.c
          compiler.c
          ir.c        => irvm.c
```

main.c 會呼叫 compiler.c / lexer.c / ir.c

ir.c 裡面會呼叫 irvm.c 其他的都是呼叫對應的.h 檔

asmVm

執行指令：

mingw32-make

./asm ../test/Add

測試範例：Add.asm

讓 R0 = 2 + 3

```
// Computes R0 = 2 + 3
@2
D=A
@3
D=D+A
@0
M=D       //讓第 0 個記憶體塞入 2 + 3
```

執行結果：

```
00: @2                          0000000000000010 0002
01: D=A                         1110110000010000 ec10
02: @3                          0000000000000011 0003
03: D=D+A                       1110000010010000 e090
04: @0                          0000000000000000 0000
05: M=D                         1110001100001000 e308
```

把 hack 的指令，每一個都轉成機器碼。2 進位(1110…000)；16 進位(ec10)

把組合語言編成機器碼的方式，就稱為組譯器

第一階段目的：編出每一個符號的位置

```
void pass1(string inFile) { //輸入是一個檔案名稱
  printf("============= PASS1 ================\n");
  char line[100]="";
  FILE *fp = fopen(inFile, "r"); //開檔案
  int address = 0;
  while (fgets(line, sizeof(line), fp)) { //開完之後就一行一行讀
    char *code = parse(line);     //如果那行是註解(如果不是就編碼)
    if (strlen(code)==0) continue; //就在這裡做 continue
    printf("%02d:%s\n", address, code);
    if (code[0] == '(') {
      char label[100];
      sscanf(code, "(%[^)])", label);
      symAdd(&symMap, label, address); // 記住符號位址，給 pass2 編碼時使
用
    } else {
      address ++;
    }
  }
  fclose(fp);
}
```

```
============= PASS1 ================
00:@10
01:D=A
02:@0
03:M=D
04:@i
05:M=1
06:@sum
07:M=0
08:(LOOP)
  p.key=LOOP *p.value=8 top=24
08:@i
09:D=M
10:@R0
11:D=D-M
12:@STOP
13:D;JGT
14:@i
```

碰到標記(LOOP)就記住位置
p.key=LOOP 是 8
接下來每個指令都一直加 1

第二階段：處理文字指令轉成二進位(真正編碼的動作)

```
void pass2(string inFile, string hackFile, string binFile) {
  printf("============= PASS2 ===============\n");
  char line[100], binary[17];
  FILE *fp = fopen(inFile, "r"); // 開啟組合語言檔
  FILE *hfp = fopen(hackFile, "w"); // 開啟輸出的 .hack 二進位字串檔案
  FILE *bfp = fopen(binFile, "wb"); // 開啟輸出的 .bin 二進位檔
  int address = 0;
  while (fgets(line, sizeof(line), fp)) { // 一行一行讀
    char *code = parse(line); // 取得該行的程式碼部分
    if (strlen(code)==0) continue;
    if (line[0] == '(') { // 這行是符號 ex: (LOOP)
      printf("%s\n", line); // 印出該符號
    } else {
      code2binary(code, binary); // 將指令編碼為二進位字串 string
      uint16_t b = c6btoi(binary); // 將二進位字串 string 轉成 int16
      printf("%02X: %-20s %s %04x\n", address, code, binary, b);
      fprintf(hfp, "%s\n", binary); // 輸出 .hack 的二進位字串檔
      fwrite(&b, sizeof(b), 1, bfp); // 輸出 .bin 的二進位檔
      address ++;
    }
  }
  fclose(fp);
  fclose(hfp);
  fclose(bfp);
}
```

因為 PASS2 有輸出，所以會開一個 16 進位的輸出檔，然後再開一個二進位的輸出檔

再一行一行讀，如果是標記就印出來，因為第一階段已經記住標記的位置

vm.c

執行指令：

mingw32-make

./vm ../test/Add.bin

```
int imTop = 0;
int16_t im[32768], m[65536];
```

im：指令記憶體，在 hack cpu 這台電腦裡面有兩個記憶體

指令放在指令記憶體，指令記憶體最大道 32768

資料放在資料記憶體，資料記憶體基本上也是 32768 就夠了，但為了容易擴充，設為 65536

```
// run: ./vm <file.bin>
int main(int argc, char *argv[]) {
  char *binFileName = argv[1];
  FILE *binFile = fopen(binFileName, "rb");
  imTop = fread(im, sizeof(uint16_t), 32768, binFile);
  fclose(binFile);
  run(im, m);
}
```

先把指定的檔案打開讀進來，binFileName 輸入檔就是 bin 檔
argv[1]:取得第一個參數
im:打開之後讀進來，讀到指令記憶體裡面
fclose(binFile); :讀完就關閉檔案
run(im, m); : 把指令記憶體的程式從 0 開始跑

*run 做的事情：模擬機器的執行過程

```
int run(uint16_t *im, int16_t *m) {
  int16_t D = 0, A = 0, PC = 0;
  uint16_t I = 0;
  uint16_t a, c, d, j;
```

在 hackcpu 裡有一個程式計數器 pc、主要儲存位置的 A 暫存器、儲存資料的 D 暫存器。
PC = 0 :從第 0 個指令開始執行

*指令執行到超過程式大小的時候會跳出一個無窮迴圈 while(1)

```
 while (1) {
    int16_t aluOut = 0, AM = 0;
    if (PC >= imTop) {
      debug("exit program !\n");
      break;
    }
```

只有虛擬機才知道超過程式的範圍！

```
I = im[PC];  //指令記憶體目前的指令把它取出來放到 I 裡面
debug("PC=%04X I=%04X", PC, I);   //印出現在的 PC 跟 I 是多少(影片中的 debug 寫的是 printf)
PC ++;   //取完之後 PC +1
 if ((I & 0x8000) == 0) { // A 指令 檢查 A 指令的第一碼是不是 0
A = I; }//如果指令的第一碼是 0，就直接把 A 設成 0
 else { // 如果指令的第一碼是 1，就是 C 指令
      a = (I & 0x1000) >> 12;
      c = (I & 0x0FC0) >>  6;
      d = (I & 0x0038) >>  3;
      j = (I & 0x0007) >>  0;
```

a = (I & 0x1000) >> 12 ：
取出 A 欄位，往右移 12 個，就會把它移到最右邊從 1 開始的地方，以此類推

vm 的指令欄位提取

格式：111 a c1..c6 d1..d3 j1..j3

	a	c	d	j
	111a	1234	5612	3123
0x1000	0001	0000	0000	000a
0x0FC0	0000	1111	1100	0000
0x0038	0000	0000	0011	1000
0x0007	0000	0000	0000	0111

變成：12 == 0000 0000 0000 000a

6 == 0000 0000 00 c1 .. c6

3 == 0000 0000 0000 0 d1 .. d3

0 == 0000 0000 0000 0 j1 .. j3

```
AM = (a == 0) ? A : m[A];
      switch (c) { // 處理 c1..6, 計算 aluOut
        case 0x2A: aluOut = 0;      break; // "0",   "101010"
                                   .
                                   .
                                   .
 case 0x15: aluOut = D | AM; break; // "D|AM","010101"
        default: assert(0);
      }
```

```
if (d & BIT(2)) A = aluOut;
if (d & BIT(1)) D = aluOut;
if (d & BIT(0)) m[A] = aluOut;
```

如果 d 的第 2 位元是 1，就要寫入 A

如果 d 的第 1 位元是 1，就要寫入 D

如果 d 的第 0 位元是 1，就要寫入 M

透過這樣可以正確的寫入到暫存器或記憶體

*處理跳躍指令，看 alu 的輸出

j 欄位是 0，不管怎樣都不跳

其他就要看 alu 的 out 是大於 0 還是小於 0 決定

```
switch (j) {
        case 0x0: break;                          //
```

```
        case 0x1: if (aluOut >  0) PC = A; break; // JGT
                                .
                                .
                                .
case 0x6: if (aluOut <= 0) PC = A; break; // JLE
        case 0x7: PC = A; break;                  // JMP
      }
```

如果 j 欄位是 0x7=111，不管怎樣都要跳(把 PC 設成 A)

```
debug(" A=%04X D=%04X m[A]=%04X", A, D, m[A]);
```

把 A,D,M 印出來觀察

03asmVm/gcc/01-add(配合 main.c)

執行指令：

gcc main.c add.c -o add

./add

gcc -S add.c -o add.s

結果：add(5, 8)=13

gcc -fverbose-asm -S add.c -o add.s：
-fverbose-asm 代表要在產生的組合語言裡面產生詳細的格式
-S 是要產生組合語言的意思所以它會把 add.c 轉換成組合語言 add.s

add.s

```
        .text
        .globl  _add
        .def _add;      .scl  2;    .type       32;   .endef
_add: //函數名稱
        pushl   %ebp        #
        movl    %esp, %ebp      #,
        subl $16, %esp      #,
        movl    8(%ebp), %eax  # a, tmp89    //#後面是註解，意思是 8(%ebp)=a，取 ebp + 8  的記憶體內容，所以 ebp + 8 = a
        movl    %eax, -4(%ebp)      # tmp89, t    // -4(%ebp)=t，取 ebp – 4 的記憶體內容，ebp – 4 = t
        movl    12(%ebp), %eax      # b, tmp90    //%eax 暫存器，ebp + 12 = b
        movl    %eax, -8(%ebp)      # tmp90, x    //ebp – 8 = x
        movl    8(%ebp), %edx       # a, tmp91
        movl    12(%ebp), %eax      # b, tmp92
        addl %edx, %eax     # tmp91, D.1490
        leave
```

此三行在做堆疊的動作

```
    ret
    .ident    "GCC: (tdm-1) 5.1.0"
```

add.c：把 a 和 b 相加回傳

```
int add(int a, int b) {
  int t = a, x=b; //臨時變數
  return a+b;
}
```

fib.c

執行指令：

```
gcc -fverbose-asm -S fib.c -o fib.s
gcc -c fib.c -o fib.o    //只想編譯不想連結
gcc main.c fib.c -o fib    //編譯並連結
./fib
```

```
    .file    "fib.c"
    .text
    .globl    _fib
    .def    _fib;    .scl    2;    .type    32;    .endef
_fib:
    pushl    %ebp    #                # 前置堆疊框架處理
    movl    %esp, %ebp    #,
    pushl    %ebx    #
    subl    $20, %esp    #,
    cmpl    $1, 8(%ebp)    #, n        # if n <=1
    jg    L2    #,
    movl    $1, %eax    #, D.1493    #    eax= 1  ... return
    jmp    L3    #
L2:
    movl    8(%ebp), %eax    # n, tmp93 # eax = n
    subl    $1, %eax    #, D.1493        # eax = eax - 1
    movl    %eax, (%esp)    # D.1493,    # 推入參數 n-1
    call    _fib    #                    # 呼叫 fib(n-1)
    movl    %eax, %ebx    #, D.1493    # 取得傳回值放入 ebx
    movl    8(%ebp), %eax    # n, tmp94 # eax = n
```

```
    subl    $2, %eax     #, D.1493       # eax = eax - 2
    movl    %eax, (%esp)     # D.1493,    # 推入參數 n-2
    call    _fib     #                    # 呼叫 fib(n-2)
    addl    %ebx, %eax     # D.1493, D.1493 # eax = fib(n-1)+fib(n-2)
L3:
    addl    $20, %esp     #,              # 堆疊後置段，恢復 ebp, esp 的
值
    popl    %ebx     #
    popl    %ebp     #
    ret                                  # return
    .ident    "GCC: (tdm-1) 5.1.0"
```

inline.c(內嵌組合語言)

執行：

gcc inline.c -o inline

./line

結果：

sum = 30

c 語言可以把組合語言直接嵌在 c 裡面，讓他們去做溝通

```c
int main(int argc, char **argv)
{
    int32_t var1=10, var2=20, sum = 0;
    asm volatile ("addl %%ebx,%%eax;"     //要代表一個%的話要用兩個%
                  : "=a" (sum)              /* output: sum = EAX */
                  : "a" (var1), "b" (var2)  /* inputs: EAX = var1, EBX =
 var2 */
    );
    printf("sum = %d\n", sum);
    return 0;
}
```

把 var1 傳給 a 暫存器，就是 eax，把 var2 傳給 b 暫存器，就是 ebx。然後把 ebx 跟 eax 加起來放在 eax 裡面