SIGSEGV時在做什麼？有沒有GDB？可以來除錯嗎？

講師：Yuto

$Outline

$whoami

- 羅崧瑋/Yuto
- 資工系大三
- 技能點：
  - Linux、逆向工程、pwn
  - 網頁前後端

$先備知識

- 基本撰寫 C 語言的能力
  - 大概知道指標的 *、& 的作用
- Windows/Unix-like Shell 的基本操作
- 擁有學習熱忱的心

$為什麼該接觸 GNU/Linux 開發工具

成功大學 黃敬群 教授

- 學習和研究
- 專業視野
- 工作機會
- 實作導向

source

$為什麼該接觸 GNU/Linux 開發工具

- 學習和研究
  - 提供了很多高品質的開源工具
  - 豐富的公開文件以及教學
  - 可以透過閱讀原始碼，站在巨人的肩膀
- 專業視野
- 工作機會
- 實作導向

source

$為什麼該接觸 GNU/Linux 開發工具

成功大學 黃敬群 教授

- 學習和研究
- 專業視野
  - 透過這些專案認識世界各地的天才
  - 甚至可以獲得工作機會(LFX Mentorship)
- 工作機會
- 實作導向

source

$為什麼該接觸 GNU/Linux 開發工具

成功大學 黃敬群 教授

- 學習和研究
- 專業視野
- 工作機會
  - 人類共享、自由、開放的理念
  - 會比同齡人有更多的實務經驗
- 實作導向

source

$為什麼該接觸 GNU/Linux 開發工具

成功大學 黃敬群 教授

- 學習和研究
- 專業視野
- 工作機會
- 實作導向
  - 解決真實世界的問題

source


這些我都不會
窩該怎麼辦

加入科學開源服務社！！

加入科學開源服務社！！

不要亂置入

- 開闊視野
- 缺什麼，補什麼

00 環境準備

學習最難的莫過於開始了

$實驗環境

- Editor：vscode(建議)、vim…
- Compiler：gcc
- Debugger：gdb

$實驗環境–Ubuntu

- `sudo apt install vim gcc`

$實驗環境–Windows

- 我熱愛 Linux
  - 用 WSL 裝 Ubuntu
  - 回上一步
- 我還是要用 Windows
  - Chocolatey
    - MinGW-w64

$實驗環境–簡報&Labs

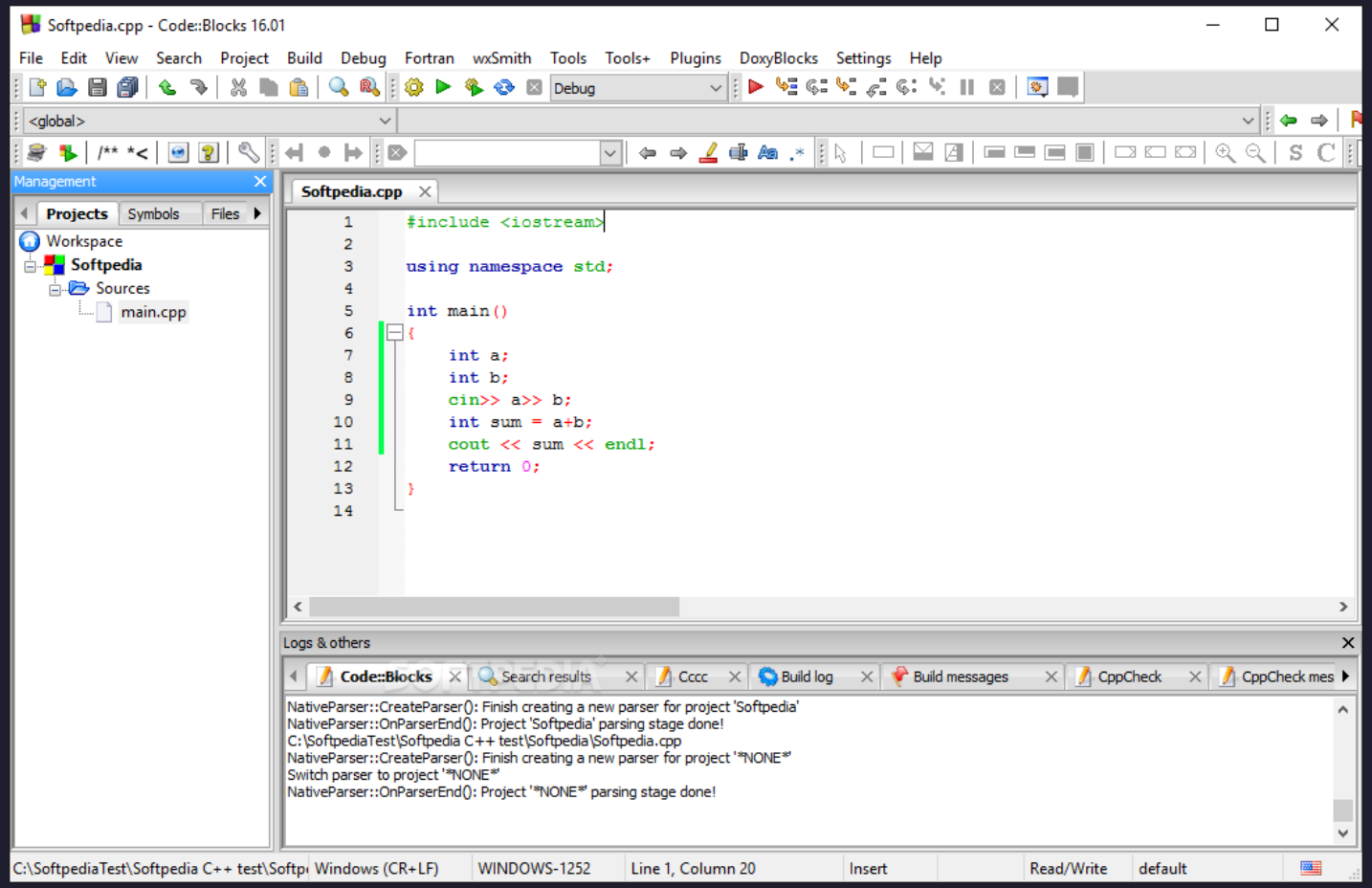
- `git clone https://github.com/yuto0226/gdb_tutorial.git`

01 程式碼編譯與執行

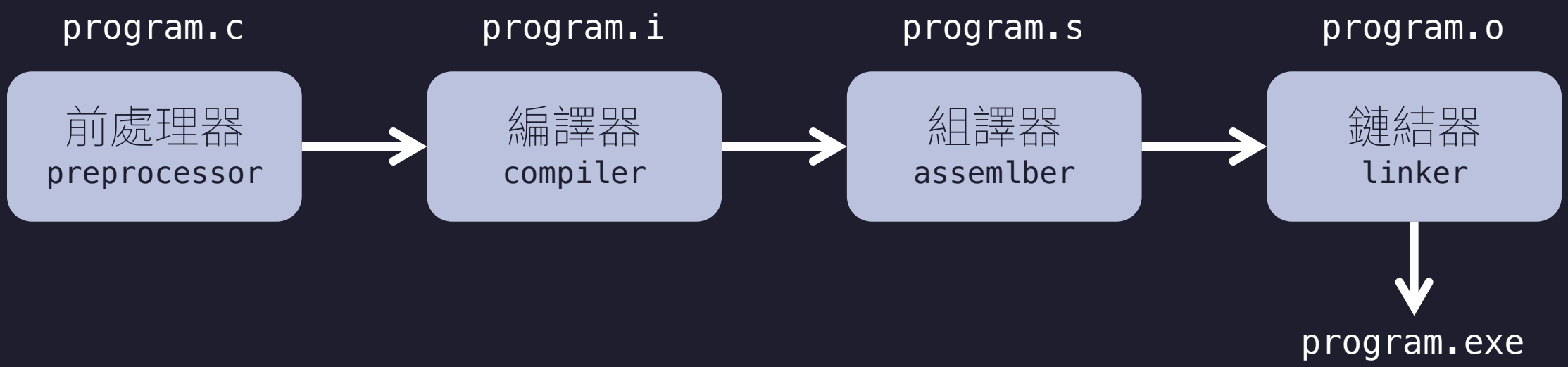
```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
  char str[] = "Hello, world!\n";   // 宣告字串 str
  printf(str);                      // 用 printf 印出字串 str

  return 0;
}
```


CodingPass

老師我的程式碼怎麼編譯那麼久？

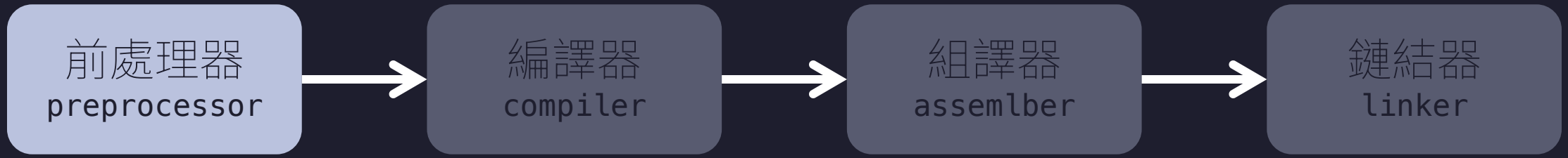

Softpedia.cpp - Code::Blocks 16.01
File Edit View Search Project Build Debug Fortran wxSmith Tools Tools+ Plugins DoxyBlocks Settings Help
Debug
<global>
Management
Projects Symbols Files
Workspace
Softpedia
Sources
main.cpp
Softpedia.cpp
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
int a;
int b;
cin>> a>> b;
int sum = a+b;
cout << sum << endl;
return 0;
}
Logs & others
Code::Blocks Search results Cccc Build log Build messages CppCheck CppCheck mes
NativeParser::CreateParser(): Finish creating a new parser for project 'Softpedia'
NativeParser::OnParserEnd(): Project 'Softpedia' parsing stage done!
C:\SoftpediaTest\Softpedia C++ test\Softpedia\Softpedia.cpp
NativeParser::CreateParser(): Finish creating a new parser for project '*NONE*'
Switch parser to project '*NONE*'
NativeParser::OnParserEnd(): Project '*NONE*' parsing stage done!
C:\SoftpediaTest\Softpedia C++ test\Softp
Windows (CR+LF)
WINDOWS-1252
Line 1, Column 20
Insert
Read/Write
default

$編譯程式


program.c
前處理器
preprocessor
program.i
編譯器
compiler
program.s
組譯器
assemlber
program.o
鏈結器
linker
program.exe

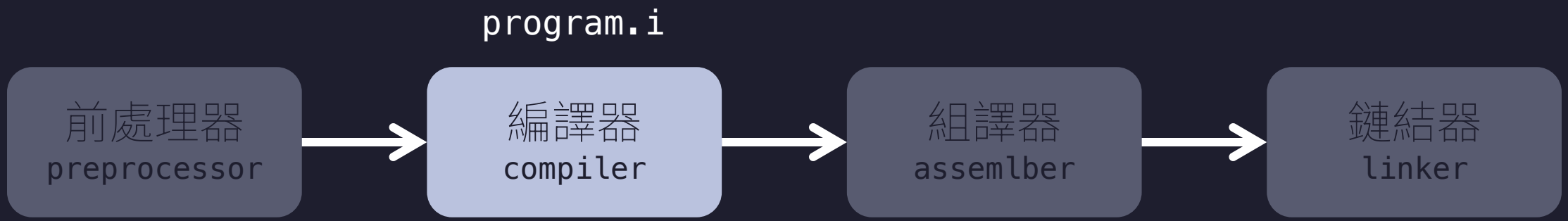
$編譯程式

program.c



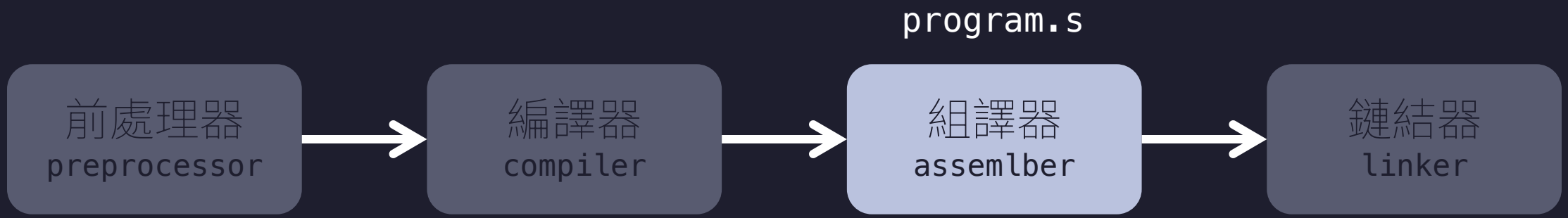
- 引入標頭檔
- 巨集替換
- 條件編譯
- 移除註解
- 輸出：.c

$編譯程式



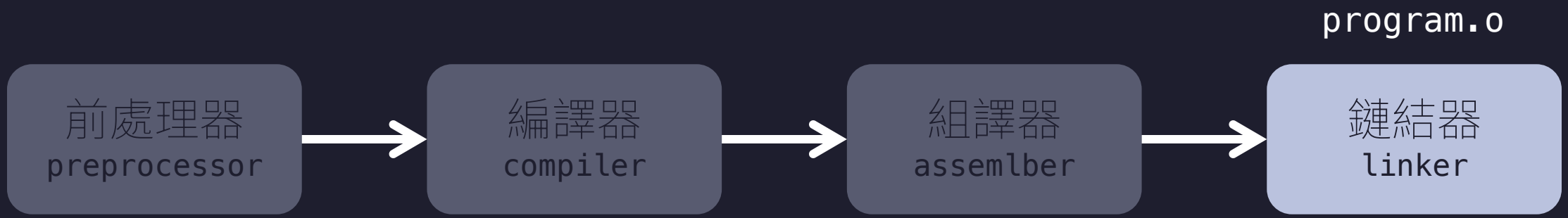
- 轉換組合語言
  - 語法分析
  - 語意分析
  - 最佳化
  - 程式安全
- 輸出：`.s`

$編譯程式



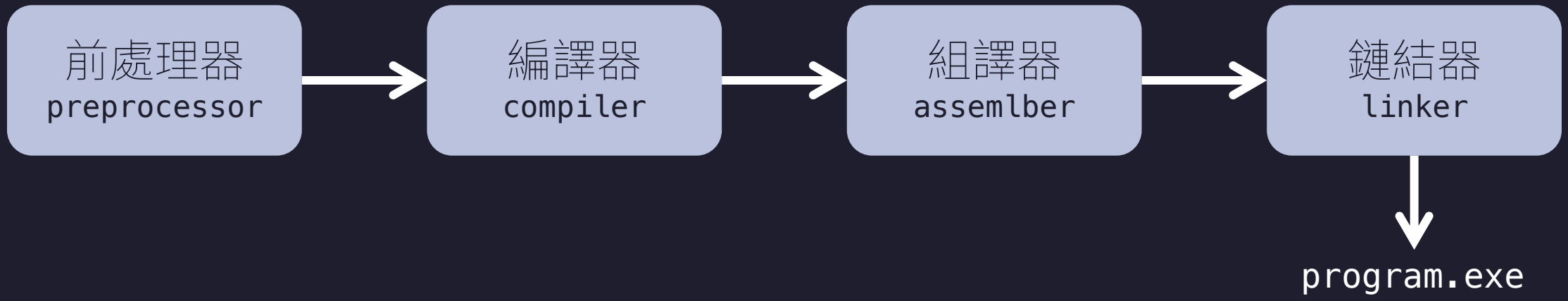
- 轉換成機器碼
- 輸出：.o

$編譯程式



- 將檔案連結在一起
  - `.o` 物件檔
  - 符號引用
  - 函式庫
- 輸出：可執行檔

$編譯程式


前處理器
preprocessor
編譯器
compiler
組譯器
assemlber
鏈結器
linker
program.exe

$gcc

- GCC(GNU Compiler Collection)
  - gcc：C 編譯器
  - g++：C++ 編譯器
  - gfortran：Fortran 編譯器
  - gobjc：Objective-C 編譯器
- 自由軟體

$gcc

- GCC(GNU Compiler Collection)
  - gcc：C 編譯器
  - g++：C++ 編譯器
  - gfortran：Fortran 編譯器
  - gobjc：Objective-C 編譯器
- 自由軟體

$Lab 1–1 暖身：編譯C程式

- 把 `hello.c` 編譯成可執行檔並執行

```
gcc program.c -o program # 從 program.c 編譯成 program
gcc program.c            # 從 program.c 編譯成 a.out/a.exe
./program
```

$C程式的錯誤類型

- Syntax Errors 語法錯誤
- Runtime Errors 執行期錯誤
- Logical Errors 邏輯錯誤
- Linked Errors 連結錯誤
- Semantic Errors 語意錯誤

$Syntax Error

- 不符合該程式語言的語法
- Compiler 會告訴你哪裡有問題
- 參閱 C99 規格書
- 沒加分號、括號沒刮

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int x = 10
    printf("%d\n", x);
    return 0;
}
```

$Semantic Errors

- 語法正確
- 但是語意有問題
- 賦值給一個表達式

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int a = 5, b = 10;
    (a + b) = 15;
    return 0;
}
```

$Linked Errors

- 連結過程中的錯誤
- 無法將目標檔連結成執行檔
- 使用未定義函式

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    print("hello.\n");
    return 0;
}
```

$Runtime Errors

- Compiler 不會報錯
- 程式異常終止
- 除以零、陣列索引超出範圍

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int a = 10, b = 0;
    int c = a / b;
    printf("%d\n", c);
    return 0;
}
```

$Logical Errors

- 使用者程式寫錯

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int a = 5, b = 10;
    int average = a + b / 2;
    printf("Average: %d\n", average);
    return 0;
}
```

$Lab 1–2：編譯C程式

- 編譯 string.c 並執行

```
gcc program.c -o program # 從 program.c 編譯成 program
gcc program.c            # 從 program.c 編譯成 a.out/a.exe
./program
```

string.c

```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
    char str[] = "Hello, world!\n";
    printf("%s\n", &str);
    return 0;
}
```

$Lab 1–2：編譯C程式

- 編譯 string.c 並執行

```
$ gcc string.c -o string
string.c: In function ‘main’
string.c:5:14: warning: format ??s??expects argument of type ‘char *’ but argument 2
has type ‘char (*)[15]’[-Wformat=]
    5 |     printf("%s\n", &str);
      |             ~^     ~~~~
      |              |     |
      |              |     char (*)[15]
      |              char *
```

$Lab 1–2：編譯C程式

- 編譯 `string.c` 並執行

```
$ ./string
Hello, world!
```


It doesn't work..... why?
It works..... why?
MemeBlender.com

$gcc

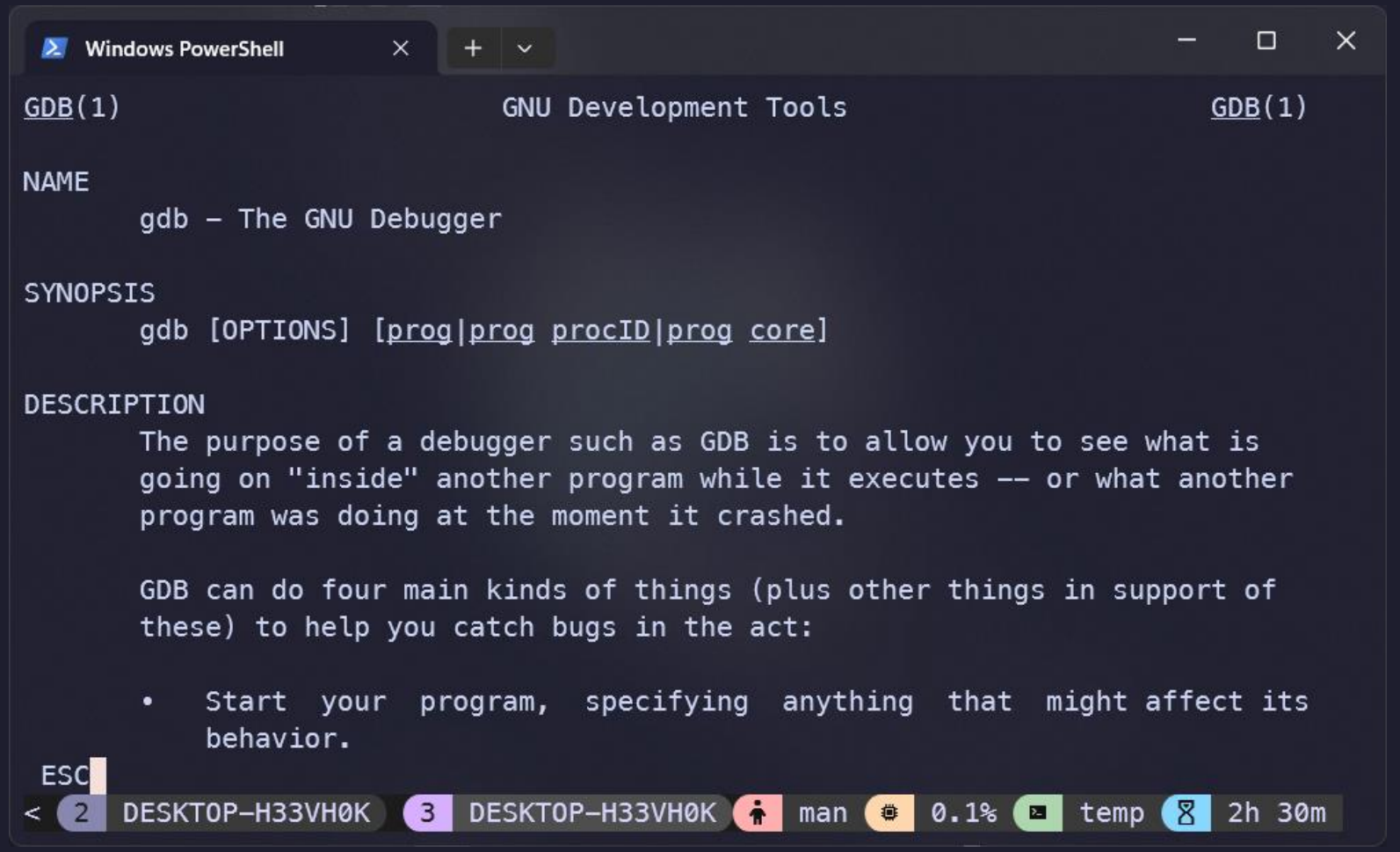
- Compiler 很強
- 善用 –Wall 選項

$GDB要解決的問題

- gcc 編譯完不會報錯
- 我明明照著演算法寫啊怎麼會錯
- 為什麼遞迴跑一跑 SIGSEGV

02 使用GDB除錯

$GDB


Windows PowerShell
GDB(1) GNU Development Tools GDB(1)
NAME
gdb - The GNU Debugger
SYNOPSIS
gdb [OPTIONS] [prog|prog procID|prog core]
DESCRIPTION
The purpose of a debugger such as GDB is to allow you to see what is going on "inside" another program while it executes -- or what another program was doing at the moment it crashed.
GDB can do four main kinds of things (plus other things in support of these) to help you catch bugs in the act:
• Start your program, specifying anything that might affect its behavior.
ESC
< 2 DESKTOP-H33VH0K 3 DESKTOP-H33VH0K man 0.1% temp 2h 30m

$GDB

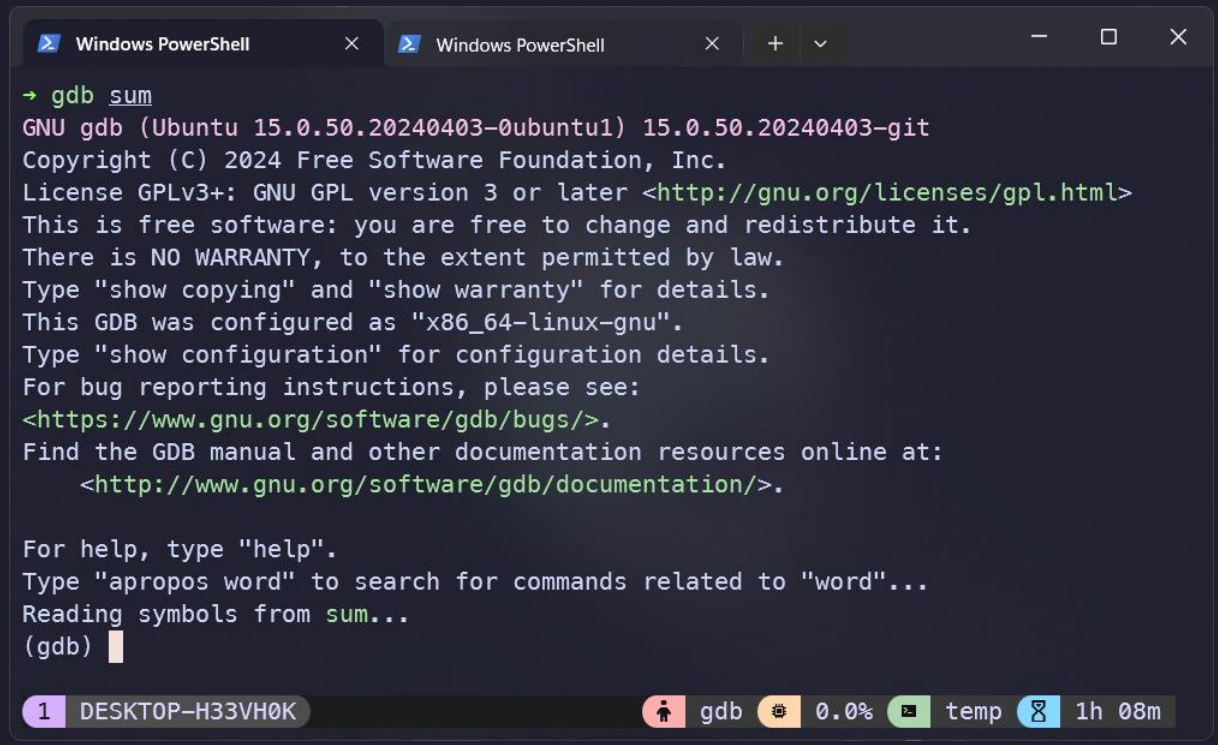
- gdb <program>
- gdb <program> <pid>
- gdb -p <pid>

$Lab 2–1：gdb 基本操作

- 編譯 `sum.c` 並使用 `gdb` 開啟

依序嘗試以下指令：

- `run`
- `disas main`
- `layout split`
- `start`
- `next`
- `next`
- `step`
- `continue`



$Lab 2–1：gdb 基本操作

$Lab 2–1：gdb 基本操作

$Symbol

- 變數名稱、函式名稱、行號...
- gdb -g

$基本指令

- **help/h** 查詢指令的用法
- **quit/q** 退出 gdb
- **run/r** 執行程式
- **start** 執行並停在 main 函式
- **next/n** 執行下一行程式碼 (不進入函數)
- **step/s** 執行下一行程式碼 (進入函數)
- **finish/fin** 執行直到 return
- **continue/c** 繼續執行程式，直到下一個中斷點
- **print/p <variable>** 印出變數的值

$圖形化介面

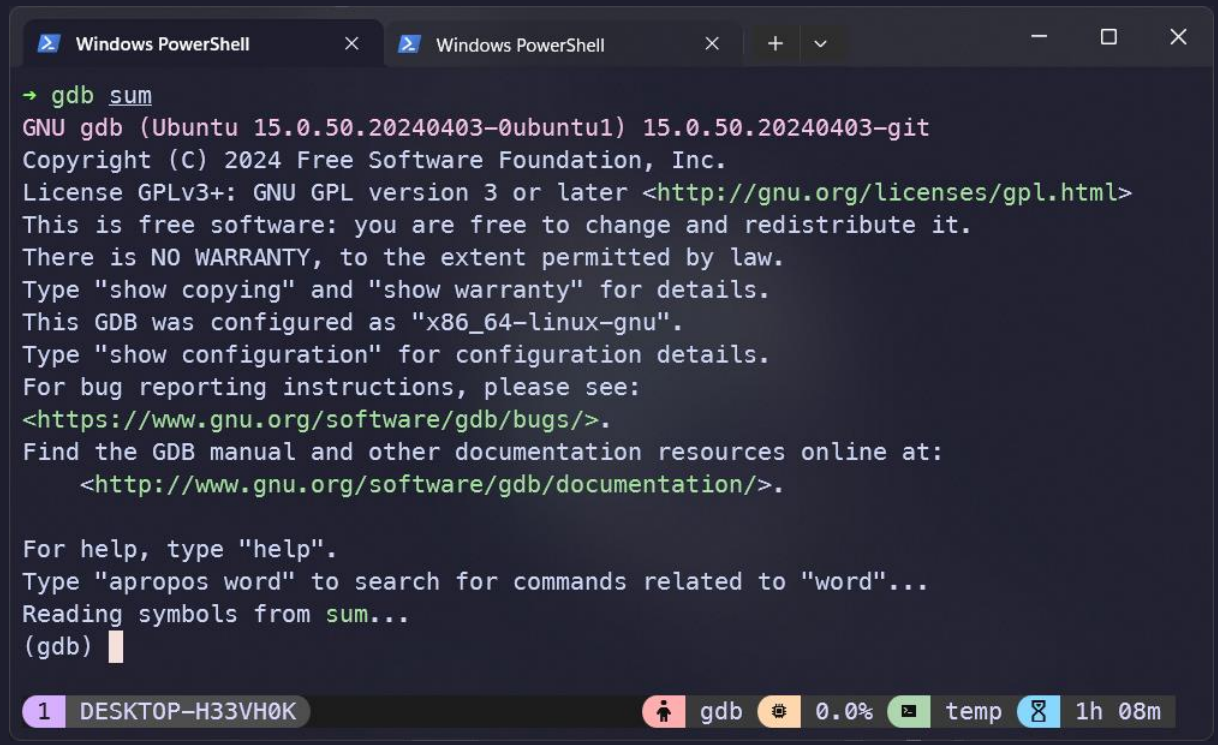
- **gdb –tui**
- **layout** <option>
  - **src**　　原始碼
  - **asm**　　組合語言
  - **regs**　　原始碼/組合語言+暫存器
  - **split**　原始碼+組合語言
- 快捷鍵
  - **Ctrl+L** 重新整理
  - **Ctrl+A** 退出 TUI 模式

$Lab 2-1：gdb 基本操作

- 重新用 `-g` 選項編譯 `sum.c` 並使用 `gdb` 開啟

依序嘗試以下指令：

- `layout split` 看原始碼和組合語言
- `start` 執行程式
- `s` 進入 `arr_sum`
- `p` 觀察 `sum` 值的變化
- 使用 `fin` 跳出 `arr_sum` 或 `c` 繼續執行



03 程式流程與斷點

$斷點 Break point

- 時間暫停

$斷點 Break point

- break/b <locspec>
- b <行號>
- b <函數名稱>
- b *<記憶體位址>
- break <中斷位置> if <條件>

- info breakpoints/break
- delete <斷點編號>

- enable <斷點編號>
- disable <斷點編號>

參考資料

$斷點 Break point

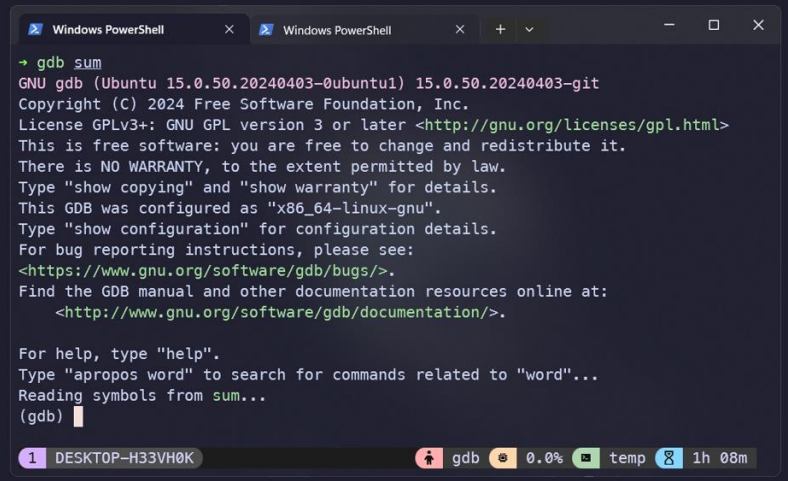
- 示範

$Lab 2-1：gdb 基本操作

- 重新用 -g 選項編譯 sum.c 並使用 gdb 開啟

依序嘗試以下指令：

- layout split 看原始碼和組合語言
- start 執行程式
- s 進入 arr_sum
- p 觀察 sum 值的變化
- 使用 fin 跳出 arr_sum 或 c 繼續執行



55

$Lab 3-1：建立斷點

- 編譯 `rand.c` 作答
- 這隻程式會使用 `rand()` 生成一個數字儲存到變數中，請使用 `gdb` 的 `print` 指令，找出生成的數字是多少。

- `Hint`：要記得下斷點，不然不會停

$Lab 3-1：建立斷點

- 編譯 `rand.c` 作答
- `set` 指令可以改變執行中程式的變數的值，使用方法如下。嘗試使用這個指令，讓程式最後輸出的 `number` 是 `114514`。
- `set <var>=<value>`

- Hint：`set sum=0xdeadbeef`

$流程控制

- **next/n(i)**　執行下一行程式碼（不進入函數）
- **step/s(i)**　執行下一行程式碼（進入函數）
- **finish/fin**　執行直到 return
- **continue/c**　繼續執行程式，直到下一個中斷點
- **until/u <locspec>**　執行直到指定的位置

$Lab 3–1：流程控制

- 編譯 `fib.c` 作答
- 實作兩種類型的函式計算 `Fibonacci`，其中計算出了一點小問題。請嘗試使用 `gdb` 除錯，修正邏輯錯誤的地方。

04 gdbinit與插件

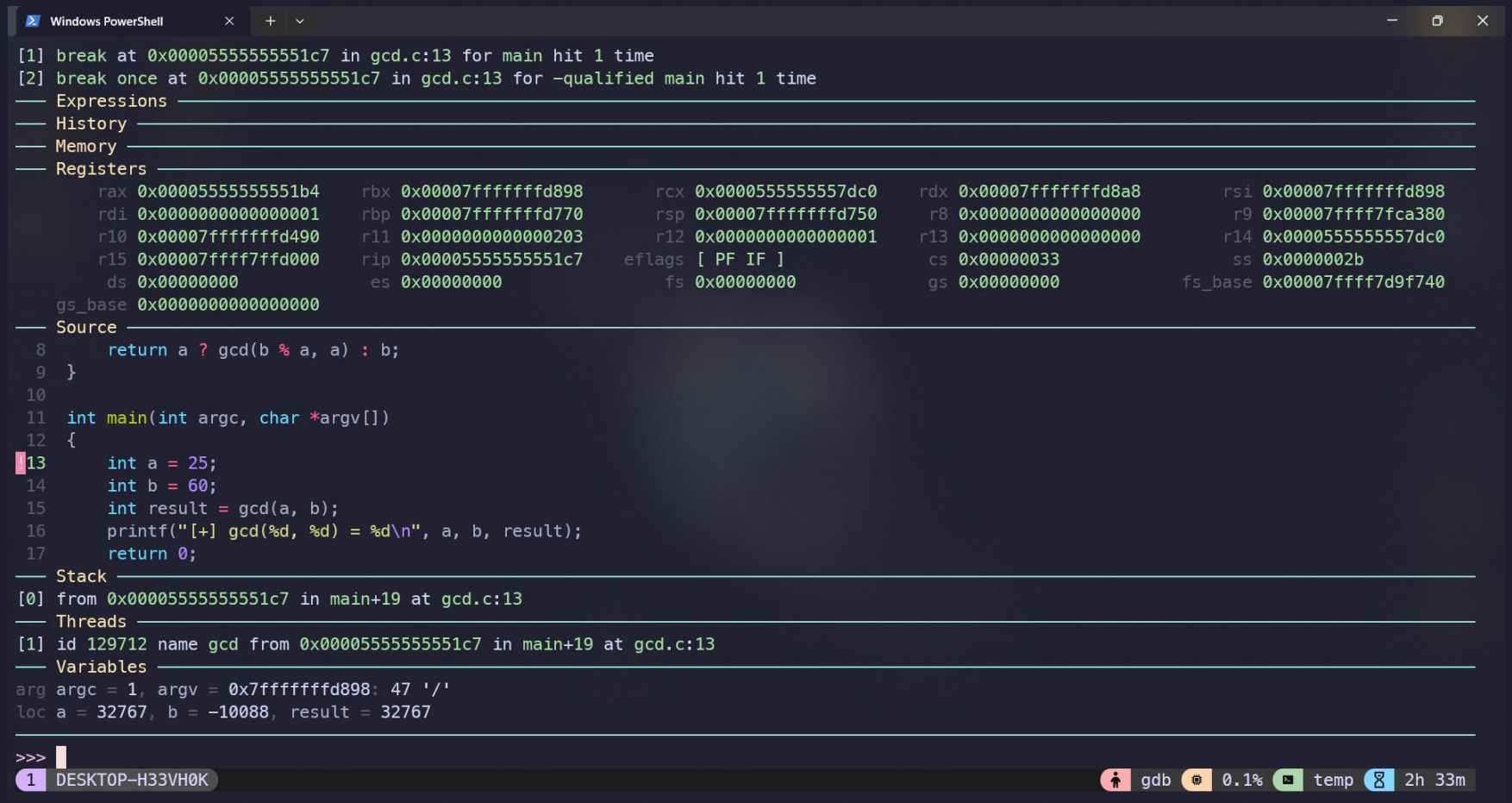
$gdbinit

- GDB 的設定腳本
- 啟動時會自動讀取並執行
- 可以使用 Python

- 網路上有很多人寫好的

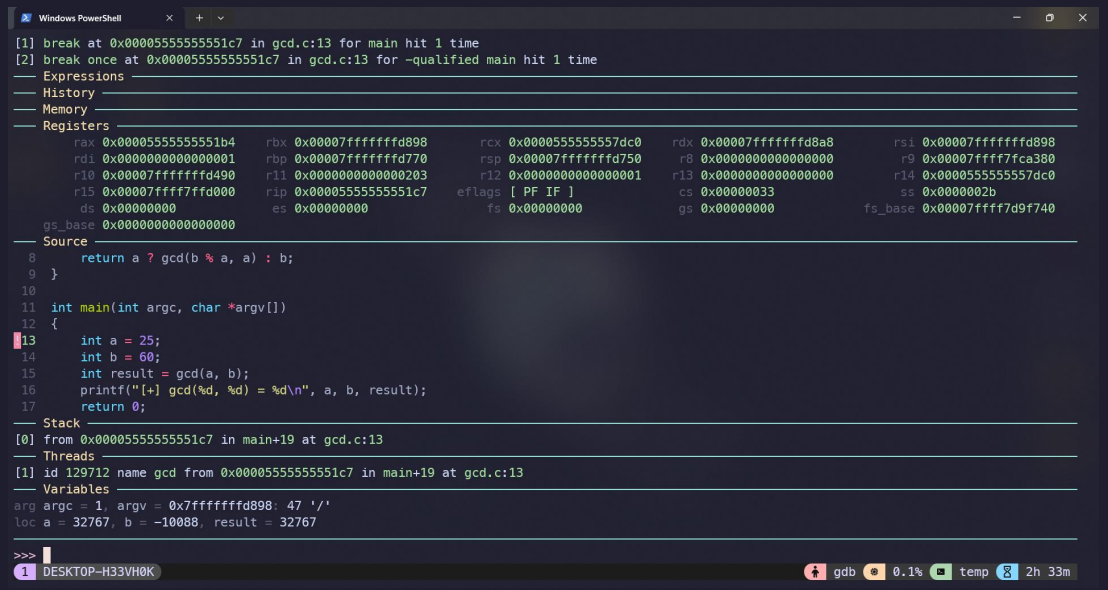
```
#設定 GDB 的提示符號
set prompt \033[31mgdb $ \33[0

# 開啟歷史紀錄儲存功能
set history save on

# 設定顯示陣列的最大長度
set print elements 200

# 設定顯示結構體的方式
set print object on
set print pretty on

# 自動載入符號檔
set auto-solib-add on
```

$GDB-Dashboard

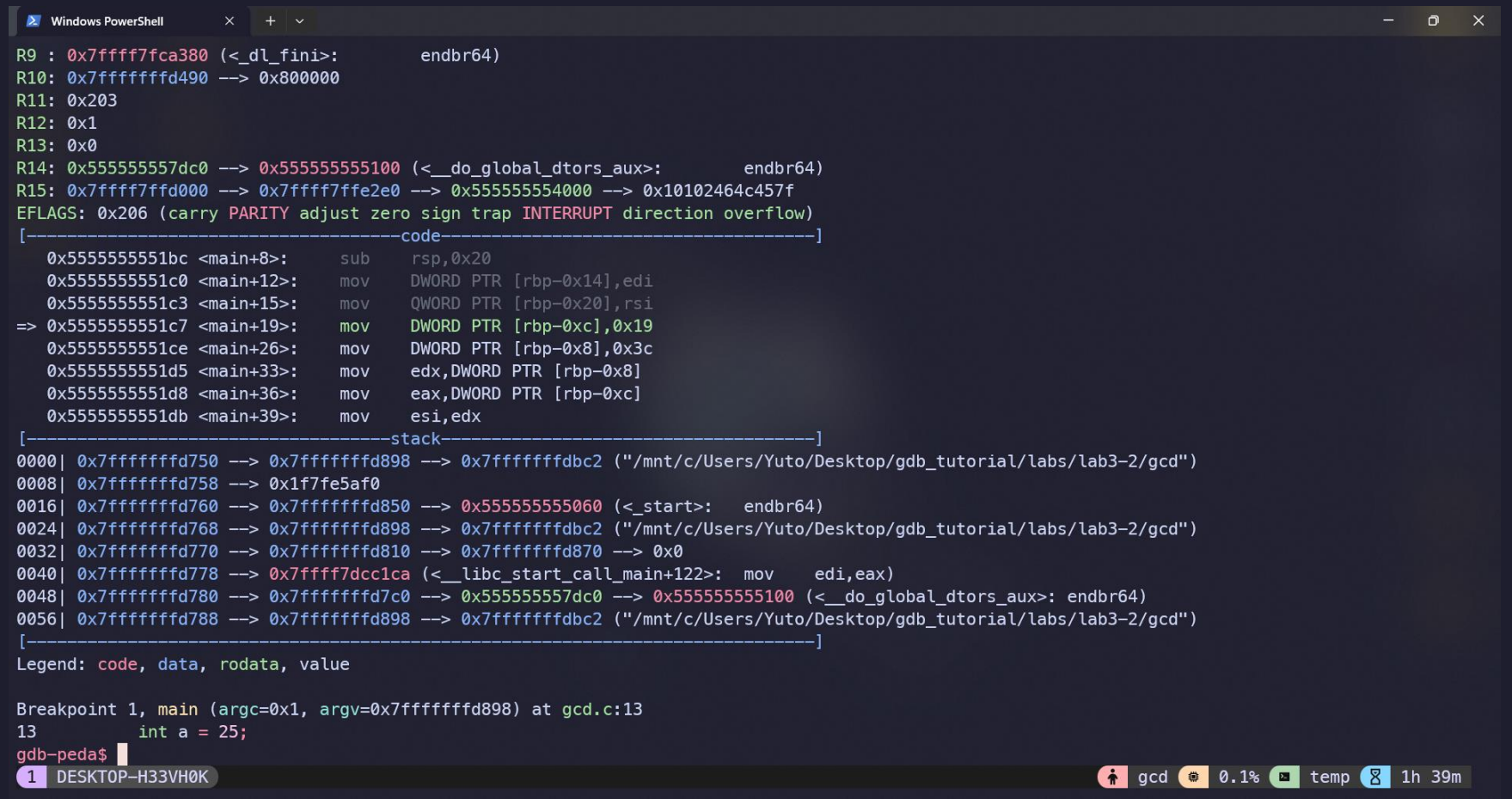


$GDB-Dashboard

- 視覺化顯示資訊
- 很適合新手入門

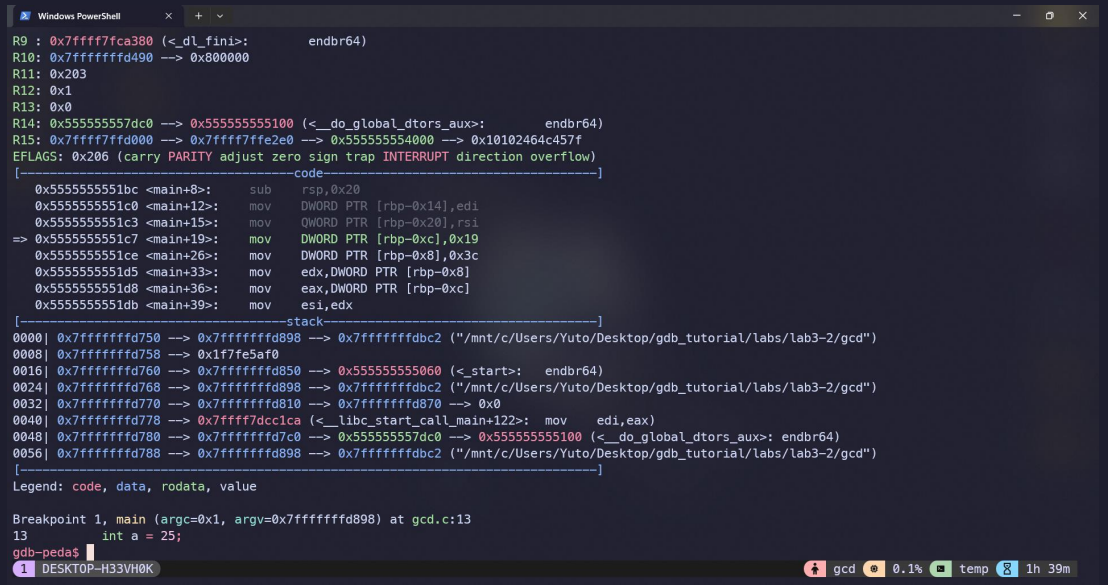


$PEDA

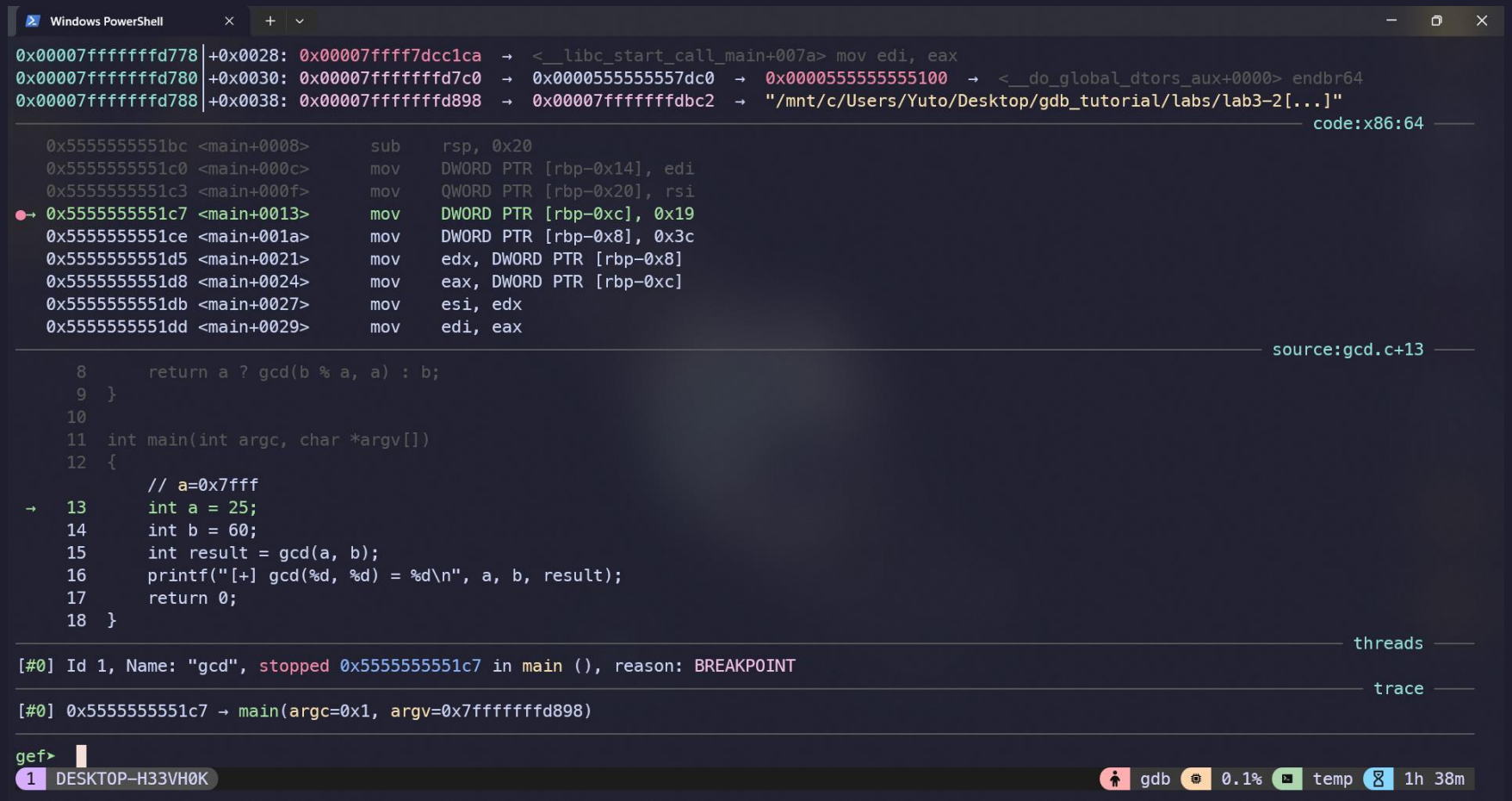

Windows PowerShell
R9 : 0x7ffff7fca380 (<_dl_fini>: endbr64)
R10: 0x7fffffffd490 --> 0x800000
R11: 0x203
R12: 0x1
R13: 0x0
R14: 0x555555557dc0 --> 0x555555555100 (<__do_global_dtors_aux>: endbr64)
R15: 0x7ffff7ffd000 --> 0x7ffff7ffe2e0 --> 0x555555554000 --> 0x10102464c457f
EFLAGS: 0x206 (carry PARITY adjust zero sign trap INTERRUPT direction overflow)
[----------code----------]
0x5555555551bc <main+8>: sub rsp,0x20
0x5555555551c0 <main+12>: mov DWORD PTR [rbp-0x14],edi
0x5555555551c3 <main+15>: mov QWORD PTR [rbp-0x20],rsi
=> 0x5555555551c7 <main+19>: mov DWORD PTR [rbp-0xc],0x19
0x5555555551ce <main+26>: mov DWORD PTR [rbp-0x8],0x3c
0x5555555551d5 <main+33>: mov edx,DWORD PTR [rbp-0x8]
0x5555555551d8 <main+36>: mov eax,DWORD PTR [rbp-0xc]
0x5555555551db <main+39>: mov esi,edx
[----------stack----------]
0000| 0x7fffffffd750 --> 0x7fffffffd898 --> 0x7fffffffdbc2 ("/mnt/c/Users/Yuto/Desktop/gdb_tutorial/labs/lab3-2/gcd")
0008| 0x7fffffffd758 --> 0x1f7fe5af0
0016| 0x7fffffffd760 --> 0x7fffffffd850 --> 0x555555555060 (<_start>: endbr64)
0024| 0x7fffffffd768 --> 0x7fffffffd898 --> 0x7fffffffdbc2 ("/mnt/c/Users/Yuto/Desktop/gdb_tutorial/labs/lab3-2/gcd")
0032| 0x7fffffffd770 --> 0x7fffffffd810 --> 0x7fffffffd870 --> 0x0
0040| 0x7fffffffd778 --> 0x7ffff7dcc1ca (<__libc_start_call_main+122>: mov edi,eax)
0048| 0x7fffffffd780 --> 0x7fffffffd7c0 --> 0x555555557dc0 --> 0x555555555100 (<__do_global_dtors_aux>: endbr64)
0056| 0x7fffffffd788 --> 0x7fffffffd898 --> 0x7fffffffdbc2 ("/mnt/c/Users/Yuto/Desktop/gdb_tutorial/labs/lab3-2/gcd")
[----------]
Legend: code, data, rodata, value
Breakpoint 1, main (argc=0x1, argv=0x7fffffffd898) at gcd.c:13
13 int a = 25;
gdb-peda$
1 DESKTOP-H33VH0K
gcd
0.1%
temp
1h 39m

$PEDA

- Python Exploit Development Assistance for GDB
- 強化 GDB 原生指令，更直覺的 暫存器顯示、反組譯輸出、記憶體檢視
- 介面較為簡潔、功能基本
- 適合CTF新手挑戰 pwn

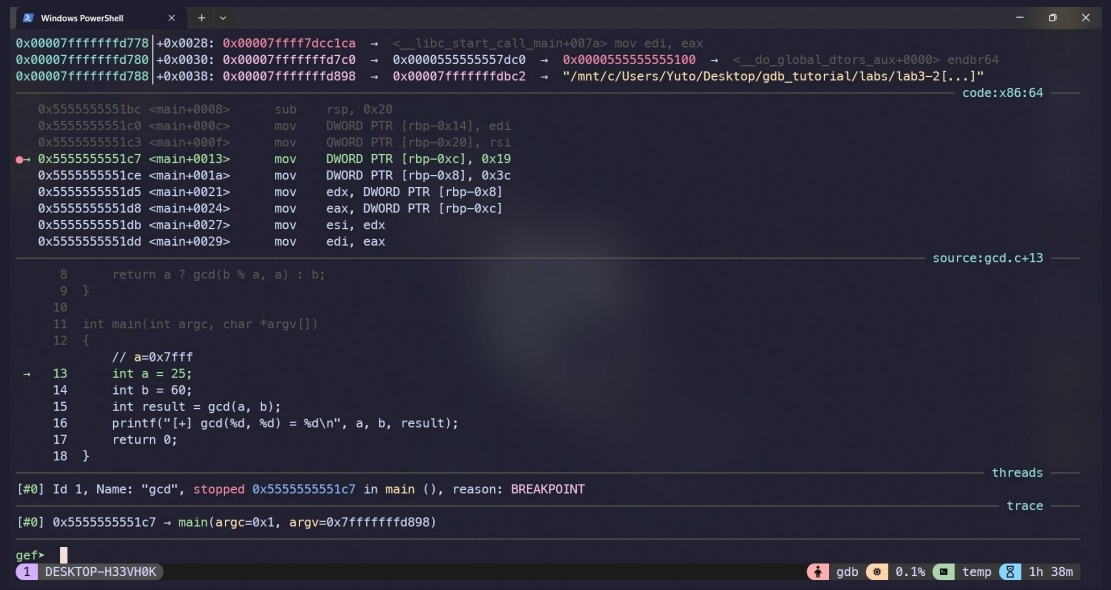


$GEF

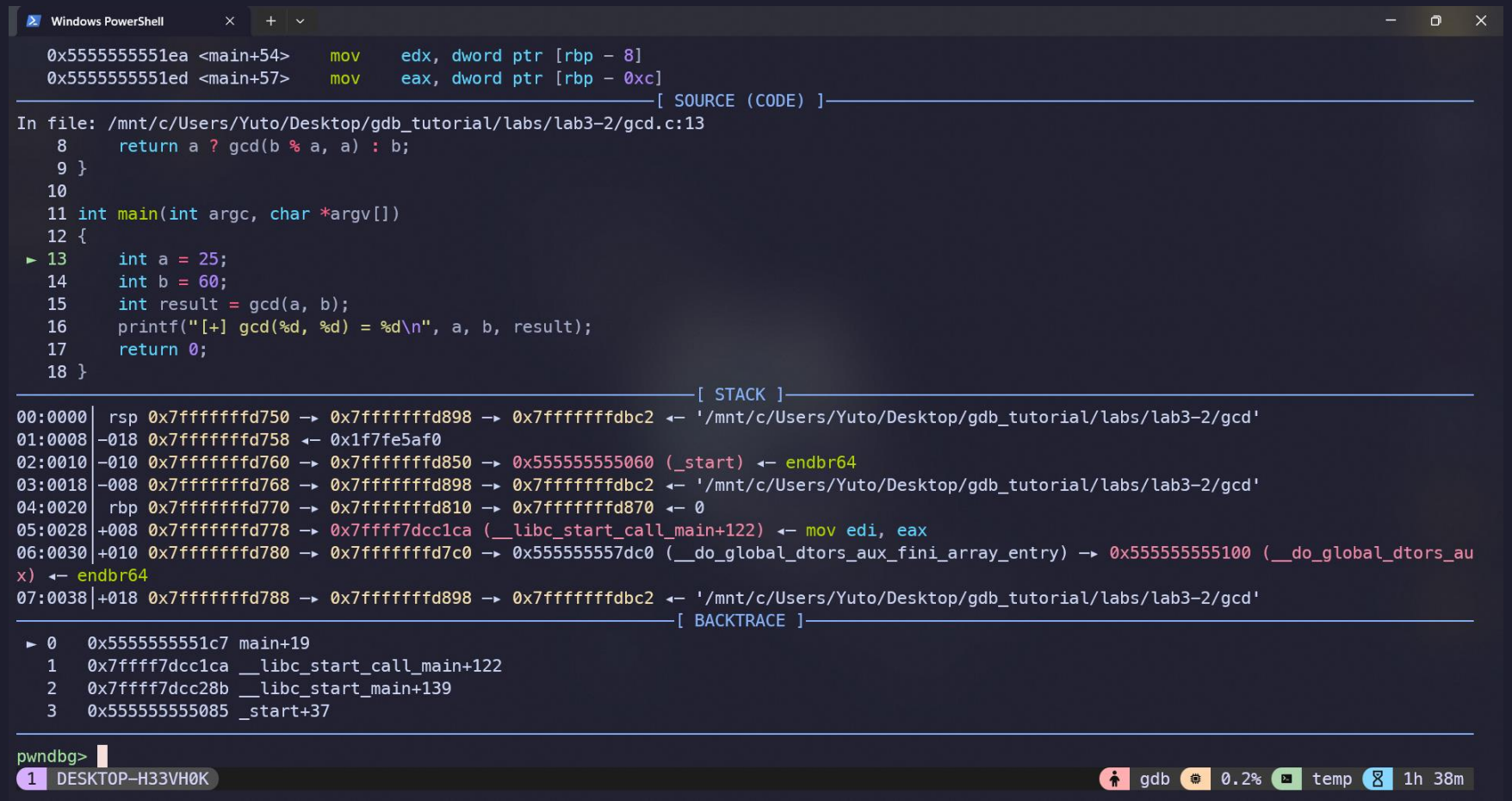

Windows PowerShell
0x00007fffffffd778|+0x0028: 0x00007ffff7dcc1ca → <__libc_start_call_main+007a> mov edi, eax
0x00007fffffffd780|+0x0030: 0x00007fffffffd7c0 → 0x0000555555557dc0 → 0x0000555555555100 → <__do_global_dtors_aux+0000> endbr64
0x00007fffffffd788|+0x0038: 0x00007fffffffd898 → 0x00007fffffffdbc2 → "/mnt/c/Users/Yuto/Desktop/gdb_tutorial/labs/lab3-2[...]"
code:x86:64
0x5555555551bc <main+0008> sub rsp, 0x20
0x5555555551c0 <main+000c> mov DWORD PTR [rbp-0x14], edi
0x5555555551c3 <main+000f> mov QWORD PTR [rbp-0x20], rsi
0x5555555551c7 <main+0013> mov DWORD PTR [rbp-0xc], 0x19
0x5555555551ce <main+001a> mov DWORD PTR [rbp-0x8], 0x3c
0x5555555551d5 <main+0021> mov edx, DWORD PTR [rbp-0x8]
0x5555555551d8 <main+0024> mov eax, DWORD PTR [rbp-0xc]
0x5555555551db <main+0027> mov esi, edx
0x5555555551dd <main+0029> mov edi, eax
source:gcd.c+13
8 return a ? gcd(b % a, a) : b;
9 }
10
11 int main(int argc, char *argv[])
12 {
// a=0x7fff
13 int a = 25;
14 int b = 60;
15 int result = gcd(a, b);
16 printf("[+] gcd(%d, %d) = %d\n", a, b, result);
17 return 0;
18 }
threads
[#0] Id 1, Name: "gcd", stopped 0x5555555551c7 in main (), reason: BREAKPOINT
trace
[#0] 0x5555555551c7 → main(argc=0x1, argv=0x7fffffffd898)
gef➤
1 DESKTOP-H33VH0K
gdb
0.1%
temp
1h 38m

$GEF

- GDB Enhanced Features
- Python 3 支援
- 多種 CPU 架構支援(x86, x86_64, ARM, MIPS, PowerPC 等)

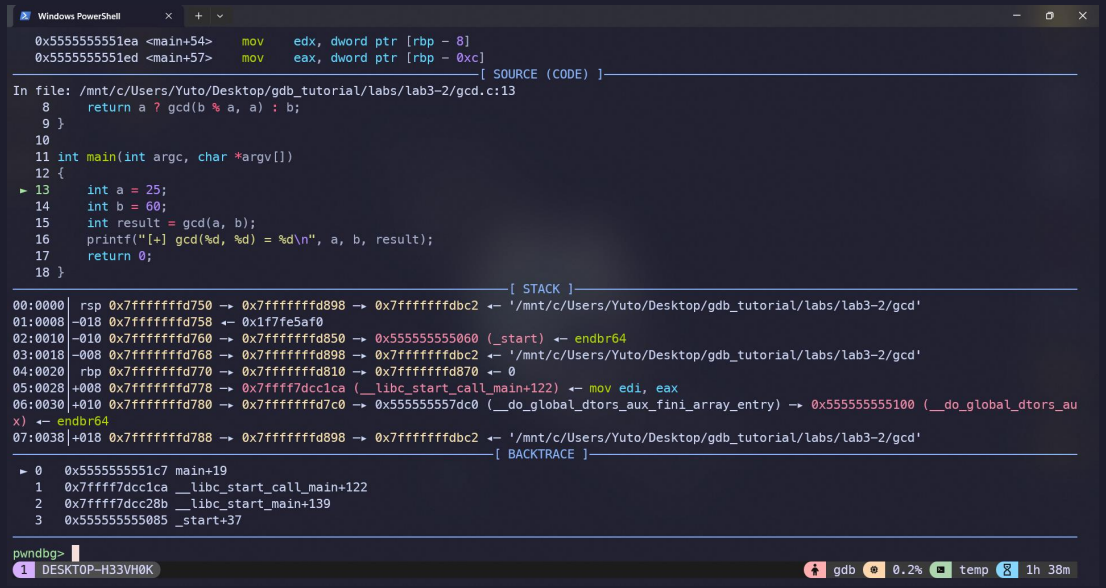


$Pwndbg


Windows PowerShell
0x5555555551ea <main+54> mov edx, dword ptr [rbp - 8]
0x5555555551ed <main+57> mov eax, dword ptr [rbp - 0xc]
[SOURCE (CODE)]
In file: /mnt/c/Users/Yuto/Desktop/gdb_tutorial/labs/lab3-2/gcd.c:13
8 return a ? gcd(b % a, a) : b;
9 }
10
11 int main(int argc, char *argv[])
12 {
► 13 int a = 25;
14 int b = 60;
15 int result = gcd(a, b);
16 printf("[+] gcd(%d, %d) = %d\n", a, b, result);
17 return 0;
18 }
[STACK]
00:0000 rsp 0x7fffffffd750 —▸ 0x7fffffffd898 —▸ 0x7fffffffdbc2 ◂— '/mnt/c/Users/Yuto/Desktop/gdb_tutorial/labs/lab3-2/gcd'
01:0008 -018 0x7fffffffd758 ◂— 0x1f7fe5af0
02:0010 -010 0x7fffffffd760 —▸ 0x7fffffffd850 —▸ 0x555555555060 (_start) ◂— endbr64
03:0018 -008 0x7fffffffd768 —▸ 0x7fffffffd898 —▸ 0x7fffffffdbc2 ◂— '/mnt/c/Users/Yuto/Desktop/gdb_tutorial/labs/lab3-2/gcd'
04:0020 rbp 0x7fffffffd770 —▸ 0x7fffffffd810 —▸ 0x7fffffffd870 ◂— 0
05:0028 +008 0x7fffffffd778 —▸ 0x7ffff7dcc1ca (__libc_start_call_main+122) ◂— mov edi, eax
06:0030 +010 0x7fffffffd780 —▸ 0x7fffffffd7c0 —▸ 0x555555557dc0 (__do_global_dtors_aux_fini_array_entry) —▸ 0x555555555100 (__do_global_dtors_aux) ◂— endbr64
07:0038 +018 0x7fffffffd788 —▸ 0x7fffffffd898 —▸ 0x7fffffffdbc2 ◂— '/mnt/c/Users/Yuto/Desktop/gdb_tutorial/labs/lab3-2/gcd'
[BACKTRACE]
► 0 0x5555555551c7 main+19
1 0x7ffff7dcc1ca __libc_start_call_main+122
2 0x7ffff7dcc28b __libc_start_main+139
3 0x555555555085 _start+37
pwndbg>
1 DESKTOP-H33VH0K
gdb 0.2% temp 1h 38m

$Pwndbg

- 專為 **CTF** 與漏洞開發設計，提供自動化利用工具
- 偵測 **ASLR**、**NX**、**Canary**、**PIE** 等安全機制
- 內建 **Heap** 分析工具
- 適合CTF競賽選手



$Lab 4-1：安裝 gdb-dashboard

- 下載 gdb-dashboard 的 .gdbinit 到 ~/.gdbinit
- sudo apt install python3-pygments
- pip install pygments

$gdb-dashboard

- 專為 **CTF** 與漏洞開發設計，提供自動化利用工具
- 偵測 **ASLR**、**NX**、**Canary**、**PIE** 等安全機制
- 內建 **Heap** 分析工具
- 適合 CTF 競賽選手

$Lab 4–1：快樂除錯

- 編譯 `gcd.c` 作答
- 這個程式也出了一點小問題，請嘗試修復錯誤

05 變數檢視

$變數檢視

- 每次都要手打 `print` 超累

- `display <expr>`

- `info display`
- `undisplay/delete display <nums>...`

- `enable display <nums>...`
- `disable display <nums>...`

$變數檢視

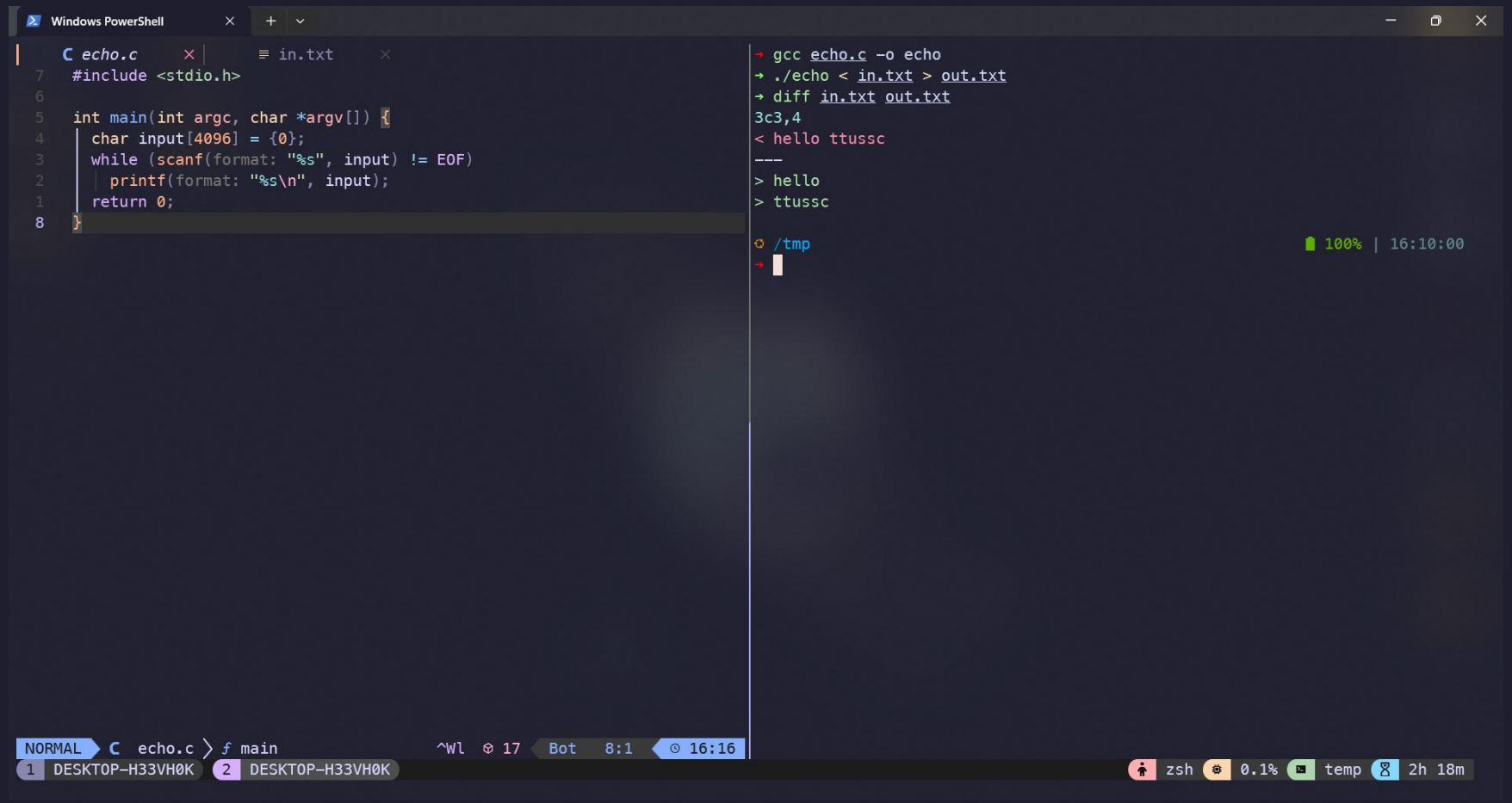
$變數檢視

06 程式競賽的應用

$測資

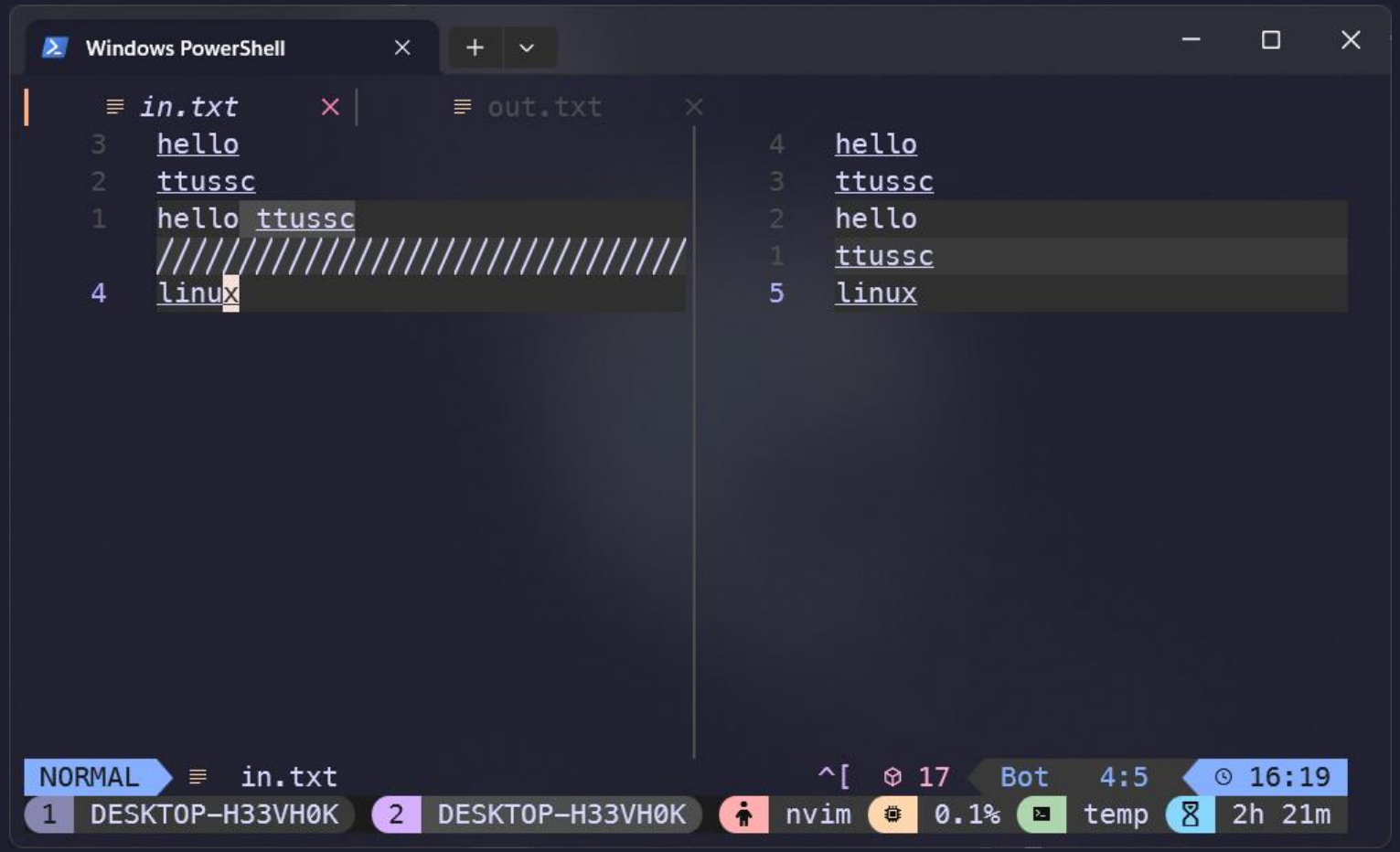
- 用 Linux 的 pipline 機制
  - `./program < test.in > output.txt`
  - `diff test.out output.txt`
  - `vimdiff test.out output.txt`
  - `nvim -d test.out output.txt`

$測資


Windows PowerShell
echo.c
in.txt
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
char input[4096] = {0};
while (scanf(format: "%s", input) != EOF)
printf(format: "%s\n", input);
return 0;
}
gcc echo.c -o echo
./echo < in.txt > out.txt
diff in.txt out.txt
3c3,4
< hello ttussc

> hello
> ttussc
/tmp
100% | 16:10:00
NORMAL
echo.c
main
^Wl
17
Bot
8:1
16:16
1 DESKTOP-H33VH0K
2 DESKTOP-H33VH0K
zsh
0.1%
temp
2h 18m

$測資


Windows PowerShell
in.txt
out.txt
3 hello
2 ttussc
1 hello ttussc
4 linux
4 hello
3 ttussc
2 hello
1 ttussc
5 linux
NORMAL
in.txt
^[
17
Bot
4:5
16:19
1 DESKTOP-H33VH0K
2 DESKTOP-H33VH0K
nvim
0.1%
temp
2h 21m

$Lab 6–1：餵測資

- 編譯 `echo.c`
- 測資：`test.in`、測資輸出：`test.out`
- 修改程式使其輸出吻合測資

$測資

- 剩下的就等你去實戰了

07 函式呼叫

08 記憶體傾印

Happing Hacking

wayne71112@gmail.com