

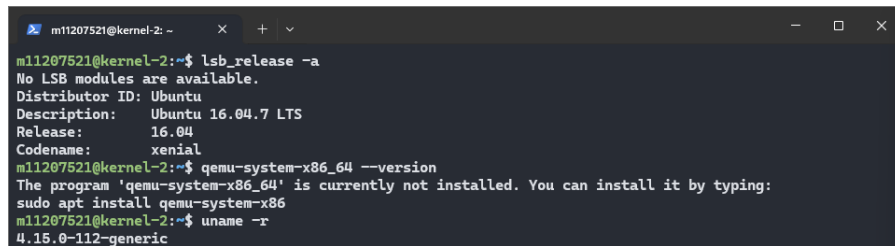
CSC0016 - Advanced Operating Systems

HW1_Build Linux Kernel 2.6.32

NTUST_M11207521 陳俊博

一、 環境設置

在硬體方面，筆電的作業系統為 Windows 11，搭載 AMD Ryzen 5 Pro 7540U 處理器，擁有 32GB 記憶體與 1TB 的硬碟儲存空間。在軟體環境中使用 VirtualBox 7.0.18 作為虛擬化平台，並在其中運行 Ubuntu 16.04.7 LTS (Xenial Xerus) 作業系統。虛擬機器配置為使用 4 顆虛擬 CPU 和 16GB 記憶體，並設定了 100GB 的虛擬硬碟。另外，在這個虛擬化環境中原先所使用的 Linux 核心版本為 4.15.0-112-generic。



```
m11207521@kernel-2: ~  
m11207521@kernel-2:~$ lsb_release -a  
No LSB modules are available.  
Distributor ID: Ubuntu  
Description:    Ubuntu 16.04.7 LTS  
Release:        16.04  
Codename:       xenial  
m11207521@kernel-2:~$ qemu-system-x86_64 --version  
The program 'qemu-system-x86_64' is currently not installed. You can install it by typing:  
sudo apt install qemu-system-x86  
m11207521@kernel-2:~$ uname -r  
4.15.0-112-generic
```

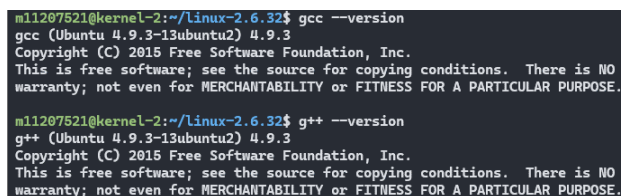
圖 1 初始環境

二、 核心編譯過程

I. 先決條件

首先，需要移除現有的 GCC 編譯器並安裝特定版本的 GCC 4.9。這是因為編譯較舊版本的 Linux 核心需要降低編譯器版本，確保與核心原始碼的相容性。

1. 移除現有的 GCC：使用 `sudo apt-get remove gcc-5` 移除 GCC 5，並使用 `sudo apt-get autoremove` 移除相關的相依套件。
2. 安裝 GCC 4.9：透過 `sudo apt-get install gcc-4.9 g++-4.9` 安裝 GCC 4.9 和 G++ 4.9。
3. 更新 Alternatives 設定：刪除現有的 `update-alternatives` 設定，並將 GCC 和 G++ 指向新的版本 4.9。
4. 驗證 GCC 和 G++ 版本：使用 `gcc -version` 與 `g++ -version` 確保 GCC 和 G++ 的版本已正確更新為 4.9。



```
m11207521@kernel-2:~/linux-2.6.32$ gcc --version  
gcc (Ubuntu 4.9.3-13ubuntu2) 4.9.3  
Copyright (C) 2015 Free Software Foundation, Inc.  
This is free software; see the source for copying conditions. There is NO  
warranty; not even for MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.  
m11207521@kernel-2:~/linux-2.6.32$ g++ --version  
g++ (Ubuntu 4.9.3-13ubuntu2) 4.9.3  
Copyright (C) 2015 Free Software Foundation, Inc.  
This is free software; see the source for copying conditions. There is NO  
warranty; not even for MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
```

圖 2 GCC 版本

II. 預建需求調整(請先從「IV. 開始編譯」開始，進到 `linux-2.6.32` 目錄後再回來這邊)

在開始編譯 Linux 2.6.32 核心之前，需要修改一些核心原始碼文件，主要原因為 GDB 版本不同，建議先修改再進行編譯可以省很多時間。

1. 修改 Makefile：在 `linux-2.6.32/arch/x86/vdso/Makefile` 中，將 `-m elf_x86_64` 改為 `-m64`，將 `-m elf_i386` 改為 `-m32`。
2. 調整網路驅動程式：註解掉 `linux-2.6.32/drivers/net/igbvf/igbvf.h` 中的 `struct page *page;`。
3. 修正 Perl 腳本：在 `linux-2.6.32/kernel/timeconst.pl` 中，將 `defined(@val)` 改為 `@val`。

III. 核心選項配置(請先從「IV. 開始編譯」開始，準備執行 `make menuconfig` 時再回來這邊)

使用 `make menuconfig` 進入核心配置選單時，需調整核心的編譯選項。

1. Kernel Hacking

- 開啟選項：

- `[*] Compile the kernel with debug info`：開啟除錯資訊，這可以在除錯時提供更詳細的訊息。
- `-*- Compile the kernel with frame pointers`：設定編譯時使用框架指標，有助於除錯工具在呼叫堆疊時提供更完整的資訊。

- 關閉選項：

- `[] Write protect kernel read-only data structures`：不啟用寫保護核心唯讀資料結構，方便後續更改核心程式碼。

2. Processor Type and Features

- 關閉選項：

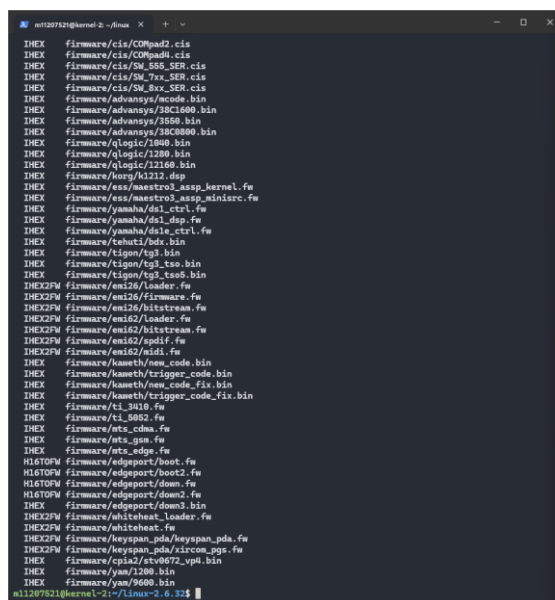
- `[] Paravirtualized guest support (NEW)`：關閉虛擬化客戶支援。

IV. 開始編譯

下載核心原始碼、解壓縮、安裝所需工具以及最終編譯核心。

1. 下載和解壓縮核心原始碼：使用 `wget` 下載 Linux 2.6.32 核心原始碼，執行 `wget https://www.kernel.org/pub/linux/kernel/v2.6/linux-2.6.32.tar.gz`，並用 `tar` 解壓縮。
2. 進入核心目錄：切換到核心原始碼所在的目錄。
3. 安裝編譯工具：使用 `sudo apt-get install` 安裝編譯核心所需的開發工具和套件，包括 `libncurses5-dev`、`build-essential` 和 `kernel-package`。

4. 清理環境：執行 `make mrproper` 以確保編譯環境的整潔，刪除配置文件（`.config`）及產生的核心映像檔案。
5. 開啟核心設定選單：通過 `make menuconfig` 開啟核心配置選單，以調整核心的選項。
6. 編譯核心：執行 `make` 根據 Makefile 的設定進行核心編譯，需要一些時間。



```

IHEX firmare/cis/CDPpad2.cis
IHEX firmare/cis/CDPpad.cis
IHEX firmare/cis/SM_555_SER.cis
IHEX firmare/cis/SM_7xx_SER.cis
IHEX firmare/cis/SM_8xx_SER.cis
IHEX firmare/advansys/ncode.bin
IHEX firmare/advansys/38C1600.bin
IHEX firmare/advansys/38C0000.bin
IHEX firmare/qlogic/1900.bin
IHEX firmare/qlogic/1200.bin
IHEX firmare/qlogic/12160.bin
IHEX firmare/horg/k1212.dsp
IHEX firmare/ess/mastro3_aasp.kernel.fw
IHEX firmare/ess/mastro3_aasp_minisc.fw
IHEX firmare/yamaha/ds1_ctrl.fw
IHEX firmare/yamaha/ds1_dsp.fw
IHEX firmare/yamaha/ds1_ctrl.fw
IHEX firmare/tehoti/bdx.bin
IHEX firmare/tigon/tg3.bin
IHEX firmare/tigon/tg3_tso5.bin
IHEX firmare/tigon/tg3_tso5.bin
IHEX2FW firmare/eni26/loader.fw
IHEX2FW firmare/eni26/firmware.fw
IHEX2FW firmare/eni26/bitstream.fw
IHEX2FW firmare/eni26/loader.fw
IHEX2FW firmare/eni26/bitstream.fw
IHEX2FW firmare/eni26/spdif.fw
IHEX2FW firmare/eni26/midi.fw
IHEX firmare/kameth/new_code.bin
IHEX firmare/kameth/trigger_code.bin
IHEX firmare/kameth/new_code_fix.bin
IHEX firmare/kameth/trigger_code_fix.bin
IHEX firmare/ti_8110.fw
IHEX firmare/ti_5052.fw
IHEX firmare/mts_cdms.fw
IHEX firmare/mts_gpm.fw
IHEX firmare/mts_edge.fw
H16T0FW firmare/edgeport/hoot.fw
H16T0FW firmare/edgeport/hoot2.fw
H16T0FW firmare/edgeport/down.fw
H16T0FW firmare/edgeport/down2.fw
IHEX firmare/edgeport/down3.bin
IHEX2FW firmare/whiteheat_loader.fw
IHEX2FW firmare/whiteheat.fw
IHEX2FW firmare/heyppan_pda/heyppan_pda.fw
IHEX2FW firmare/heyppan_pda/circom_pgs.fw
IHEX firmare/cpia2/stv0672_vp4.bin
IHEX firmare/yan/1900.bin
IHEX firmare/yan/9600.bin
all207521@kernel-2:~/linux-2.6.32$

```

圖 3 Linux 核心編譯完成

三、 使用 QEMU 和 BusyBox 開啟 linux kernel 2.6.32

I. 先決條件

首先需要安裝 QEMU，這是一個開放原始碼的虛擬機器模擬器和虛擬化工具，允許在虛擬環境中運行不同的作業系統核心。

- 安裝 QEMU：`sudo apt-get install qemu qemu-system`，會安裝 QEMU 和相關的系統模組，為後續模擬環境做準備。

II. BusyBox 配置(請先跳到「III. 開始編譯」，執行到 `make menuconfig` 時再回來這邊)

BusyBox 是一個整合了多個 Unix 工具的小型軟體，用於在嵌入式系統中提供精簡的 Linux 環境。需要配置 BusyBox，使得與 Linux 2.6.32 核心相容。

1. BusyBox Configuration：

- 進入 BusyBox 的 `menuconfig` 配置選單，選擇 "Settings -> Build Options"。
- 開啟 `[*] Build static binary (no shared libs)`。

2. Linux System Utilities :

- 關閉 `Support mounting NFS file systems on linux < 2.6.23 (NEW)` 。

3. Networking Utilities :

- 關閉 `inetd` 。

III. 開始編譯

下載、解壓縮並編譯 BusyBox，用作核心的初始化檔案系統。

1. 下載和解壓縮 BusyBox：使用 `wget` 下載 BusyBox 1.31.0，執行 `wget https://busybox.net/downloads/busybox-1.31.0.tar.bz2`，並使用 `tar` 解壓縮。
2. 進入 BusyBox 目錄：切換到 BusyBox 原始碼所在的目錄。
3. 配置 BusyBox：執行 `make menuconfig` 進入 BusyBox 配置選單，調整配置以符合需求。
4. 編譯並安裝 BusyBox：執行 `make install`，這會將 BusyBox 安裝到 `_install` 目錄中，作為核心初始化的根檔案系統。

圖 4 BusyBox 編譯完成

IV. 後置建置

配置根檔案系統的目錄結構和啟動腳本，以便核心能夠正確啟動和掛載必要的虛擬檔案系統。

1. 建立目錄結構：在 `_install` 目錄中建立 `proc`、`sys`、`dev`、`etc` 和 `etc/init.d` 目錄，執行 `mkdir proc sys dev etc etc/init.d`，為根檔案系統必要目錄。

2. 編寫啟動腳本：創建 `etc/init.d/rcS` 檔案，添加啟動腳本內容以掛載 `proc` 和 `sysfs` 檔案系統，並啟動 `mdev`。添加以下程式碼：

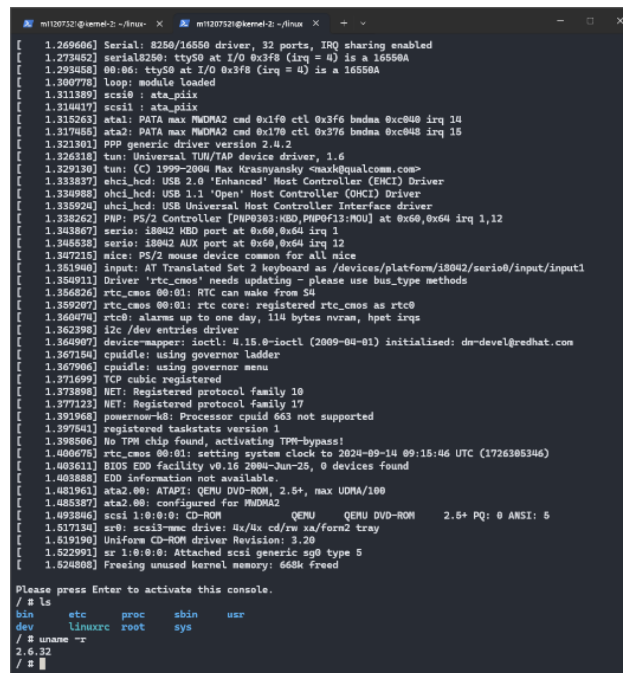
```
1. #!/bin/sh
2. mount -t proc proc /proc
3. mount -t sysfs proc /sys
4. /sbin/mdev -s
```

3. 設置腳本為可執行：使用 `chmod +x` 命令將腳本設為可執行，確保它能在啟動時運行。執行 `chmod +x etc/init.d/rcS`。
4. 在 `_install` 下執行：`find . | cpio -o --format=newc > ../rootfs.img`

V. 測試環境

使用 QEMU 啟動編譯好的 Linux Kernel 和 BusyBox 根檔案系統，以驗證整個環境是否正常工作。

1. 啟動核心：進入 `linux-2.6.32/` 目錄，使用 `qemu-system-x86_64` 命令來啟動編譯好的核心，並使用 `-initrd` 參數指定 BusyBox 產生的根檔案系統映像。執行 `qemu-system-x86_64 -m 512 -kernel arch/x86_64/boot/bzImage -initrd ../busybox-1.31.0/rootfs.img -append "root=/dev/ram rdinit=/sbin/init console=ttyS0" -nographic`。使用 `-nographic` 參數，不開啟圖形介面。
2. 驗證核心版本：啟動後執行 `uname -r` 會顯示 `2.6.32`，表示成功啟動指定版本的 Linux 核心。



```
mi120732@kernel-2: ~$ qemu-system-x86_64 -m 512 -kernel arch/x86_64/boot/bzImage -initrd ../busybox-1.31.0/rootfs.img -append "root=/dev/ram rdinit=/sbin/init console=ttyS0" -nographic
[ 1.269606] Serial: 8250/16550 driver, 32 ports, IRQ sharing enabled
[ 1.273482] serial8250: ttyS0 at I/O 0x3f8 (irq = 4) is a 16550A
[ 1.293458] 00:06: ttyS0 at I/O 0x3f8 (irq = 4) is a 16550A
[ 1.300778] loop: module loaded
[ 1.311389] scsi0 : ata_piix
[ 1.314417] scsi1 : ata_piix
[ 1.315263] ata1: PATA max MWDMA2 cmd 0x1f0 ctl 0x3f6 bmdma 0xc048 irq 14
[ 1.317458] ata2: PATA max MWDMA2 cmd 0x1f0 ctl 0x3f6 bmdma 0xc048 irq 15
[ 1.321381] PPP generic driver version 2.4.2
[ 1.326318] tun: Universal TUN/TAP device driver, 1.6
[ 1.329130] tun: (C) 1999-2004 Max Krasnyansky <max@qualcomm.com>
[ 1.333837] ehci_hcd: USB 2.0 'Enhanced' Host Controller (EHCI) Driver
[ 1.338868] ohci_hcd: USB 1.1 'Open' Host Controller (OHCI) Driver
[ 1.335924] uhci_hcd: USB Universal Host Controller Interface driver
[ 1.338262] PNP: PS/2 Controller [PNP0303:KBD,PNP0f13:MOU] at 0x60,0x64 irq 1,12
[ 1.343867] serio: i8042 KBD port at 0x60,0x64 irq 1
[ 1.345558] serio: i8042 AUX port at 0x60,0x64 irq 12
[ 1.347215] mice: PS/2 mouse device common for all mice
[ 1.351940] input: AT Translated Set 2 keyboard as /devices/platform/i8042/serio0/input/input1
[ 1.354911] Driver 'rtc_cmos' needs updating - please use bus_type methods
[ 1.356526] rtc_cmos 00:01: RTC can wake from S4
[ 1.359207] rtc_cmos 00:01: rtc core: registered rtc_cmos as rtc0
[ 1.360474] rtc0: alarms up to one day, 114 bytes nvram, hpet irq
[ 1.362398] i2c /dev entries driver
[ 1.364907] device-mapper: ioctl: 4.15.0-ioctl (2009-04-01) initialised: dm-devel@redhat.com
[ 1.367194] cpuidle: using governor ladder
[ 1.367906] cpuidle: using governor menu
[ 1.371699] TCP cubic registered
[ 1.373898] NET: Registered protocol family 10
[ 1.377123] NET: Registered protocol family 17
[ 1.391968] psmouse: PS/2 mouse emulation: no poll, device supported
[ 1.397641] registered taskstats version 1
[ 1.398506] No TPM chip found, activating TPM-bypass!
[ 1.400676] rtc_cmos 00:01: setting system clock to 2024-09-14 09:15:46 UTC (1726385346)
[ 1.403611] BIOS EDD facility v0.16 2004-Jun-25, 0 devices found
[ 1.403888] EDD information not available.
[ 1.481961] ata2.00: ATAPI: QEMU DVD-ROM, 2.5+, max UDMA/100
[ 1.485387] ata2.00: configured for MWDMA2
[ 1.493946] scsi 1:0:0:0: CD-ROM QEMU QEMU DVD-ROM 2.5+ PQ: 0 ANSI: 6
[ 1.517194] sr0: scsi3-mmc drive: 4x/4x cd/rw xa/form2 tray
[ 1.519190] Uniform CD-ROM driver Revision: 3.20
[ 1.522991] sr 1:0:0:0: Attached scsi sg0 type 5
[ 1.524808] Freeing unused kernel memory: 668k freed

Please press Enter to activate this console.
/ # ls
dev      etc      proc     sbin     usr
linuxrc  root    sys
/ # uname -r
2.6.32
/ #
```

圖 5 確認核心版本

四、 遇到的困難點

雖然已經成功地編譯了 Linux 核心，但不清楚如何在一個虛擬環境中使用不同於主機系統核心版本的自訂核心，讓我進入了沉思者的狀態：如何才能在不干擾現有系統的前提下，運行並測試這個新編譯的核心？所以就開始上網找資料，終於在凌晨五點的時候找到一份關於使用 QEMU 和 BusyBox 來模擬 Linux 核心環境的文章。



圖 6 沉思者雕像

現在就來介紹一下吧。QEMU 是一個虛擬機模擬器，它可以模擬不同的硬體環境，並允許運行自訂的 Linux 核心。而 BusyBox 是一個精簡的 Unix 工具集，能夠在嵌入式系統或簡化的 Linux 環境中提供基本的命令和功能。

使用 QEMU 的話我可以指定我們自己編譯的 Linux 核心，並搭配 BusyBox 作為根檔案系統，從而創建一個獨立的虛擬機環境。這個環境不依賴於主機的核心版本，以便讓我能夠測試和驗證新編譯的 Linux 2.6.32 核心是否運行正常。所以，使用這兩套軟體可以輕鬆地完成這次的作業。



圖 7 QEMU 與 BusyBox 圖示

五、 HackMD 筆記

Build Linux Kernel 2.6.32: <https://hackmd.io/@CHUN-PO-CHEN/SkWNhO460>

六、 參考資料

1. Love, R. (2010). Linux Kernel Development (Third Edition). Addison Wesley.
https://github.com/jyfc/ebook/blob/master/03_operating_system/Linux.Kernel.Development.3rd.Edition.pdf.
2. Linux Kernel 2.6.32 Build,
https://hackmd.io/@qqgnoe466263/SkN1lw0QB?utm_source=preview-mode&utm_medium=rec.
3. QEMU + Busybox 模拟 Linux 内核环境, <https://www.v4ler1an.com/2020/12/qemu/>.
4. GCC version 4.9 has no installation candidate,
<https://stackoverflow.com/questions/62177887/gcc-version-4-9-has-no-installation-candidate>.
5. Linux kernel compile error elf_x86_64 missing,
<https://stackoverflow.com/questions/22662906/linux-kernel-compile-error-elf-x86-64-missing>.
6. Can't use 'defined(@array)' (Maybe you should just omit the defined())at kernel/timeconst.pl, https://blog.csdn.net/qq_37363920/article/details/105391961.
7. Kernel doesn't support PIC mode for compiling ?,
<https://askubuntu.com/questions/851433/kernel-doesnt-support-pic-mode-for-compiling?noredirect=1&lq=1>.
8. cc1: error: code model kernel does not support PIC mode,
https://blog.csdn.net/jasonLee_lijiaqi/article/details/84651138.
9. Linux 内核调试,
https://xz.aliyun.com/t/2024?time_1311=n4%2Bxni0%3DoQwxBDmxmqGNDQaac7T3zce6mAoD.