

Homework #3

Due Time: 2024/03/10 (Sun.) 22:00

Contact TAs: vegetable@csie.ntu.edu.tw

Instructions and Announcements

- **NO LATE SUBMISSION OR PLAGIARISM IS ALLOWED.**
- Discussions with others are encouraged. However, you should write down your solutions **in your own words**. In addition, for **each and every** problem you have to specify the references (the URL of the web page you consulted or the people you discussed with) on the first page of your solution to that problem.
- Some problems below may not have standard solutions. **We will give you the points if your answer is followed by reasonable explanations.**

Submission

- Please place your answers in the same order as the problem sheet and do not repeat problem descriptions, just organize them by problem number in a tidy manner.
- Please submit your report via Gradescope.

Grading

- The total score for the correctness and completeness of your answer is 100 points.
- It's possible you don't get full credits even if you have the correct answer. You should show how you get the answers step by step and list the references.
- Tidiness score: 3 bonus points, graded by TA.
- Final score = correctness score + tidiness score.

Partition

VM Setup (準備步驟)

請在工作站上執行 `/tmp2/aoaaceai/publish/setup_partition.sh`。這個指令會在 `/tmp2/[你的學號]/partition` 中生成此題所需的虛擬機環境。

完成後，請 `cd` 至該資料夾，並執行裡面的 `run_vm.sh`。

你應該會看到如下的畫面：

```
0 $ ./run_vm.sh
QEMU 8.1.3 monitor - type 'help' for more information
(qemu) VNC server running on 140.112.30.189:5901
```

Figure 1: 執行 `run_vm.sh` 後的結果

在這個畫面中，請鍵入 `change vnc password` 並按下 `<enter>` 來設定連線密碼。

注意：每次執行 `run_vm.sh` 都必須重設密碼，否則無法連線！

接下來，請使用任意一種 VNC client，連線至 `run_vm.sh` 提及的 IP 及 port。輸入先前設定的密碼後，你應該會看到 Arch Linux 的開機畫面。

```
Arch Linux 6.6.3-arch1-1 (tty1)
archiso login: root (automatic login)

To install Arch Linux follow the installation guide:
https://wiki.archlinux.org/title/Installation_guide

For Wi-Fi, authenticate to the wireless network using the iwctl utility.
For mobile broadband (WWAN) modems, connect with the mmcli utility.
Ethernet, WLAN and WWAN interfaces using DHCP should work automatically.

After connecting to the internet, the installation guide can be accessed
via the convenience script Installation_guide.

root@archiso ~ # _
```

Figure 2: 開機後的畫面

最後，請執行 `lsblk` 指令，檢查虛擬機中是否有 `/dev/vd{a..f}` 六個硬碟。

1. Initial partition (8 分)

請使用任意一個磁碟分割工具，對 `/dev/vda` 進行以下操作：

- 使用 GPT 分割表
- `/dev/vda1` 是一個 BIOS boot partition，大小 1M。
- `/dev/vda2` 是一個 Linux Filesystem 的分割區，大小 200M。
- `/dev/vda3` 是一個 Linux LVM 的分割區，佔有剩下的空間。

2. RAID Setup (10 分)

請利用 `mdadm` 指令，進行以下操作：

- (a) `/dev/vd{c..f}` 是一個 RAID 10 的陣列，並將這個裝置命名為 `data` (也就是讓這個裝置的 `device file` 路徑在 `/dev/md/data`)。
- (b) `/dev/vda3`、`/dev/vdb` 是一個 RAID 0 的陣列，並將這個裝置命名為 `linux` (也就是讓這個裝置的 `device file` 路徑在 `/dev/md/linux`)

3. Disk encryption (12 分)

請使用 `cryptsetup` 指令，進行以下操作：

- `/dev/vda2` 以 `luks1` 加密，選擇一個好記的密碼，將加密之後的裝置路徑設在 `/dev/mapper/cryptboot`。
- 用 `dd` 指令以及 Linux 的隨機數產生裝置生成一個 256 字元的隨機檔案，並用它作為 `/dev/vda2` 的第二個密碼。
- `/dev/md/linux` 以 `luks2` 加密，使用先前生成的隨機檔案作為密碼，將加密之後的裝置路徑設在 `/dev/mapper/cryptroot`。
- (Optional) 為 `/dev/md/linux` 設定好記的第二密碼，以方便 `debug` 接下來的幾個步驟。
- `/dev/md/data` 以 `luks2` 加密，使用先前生成的隨機檔案作為密碼，將加密之後的裝置路徑設在 `/dev/mapper/cryptdata`。

注意：由於接下來可能會經歷多次重新開機，建議用 `scp` 指令，將隨機生成的密碼檔備份在工作站上。

4. LVM Setup (12 分)

請使用 LVM 相關指令，進行以下操作：

- 建立一個 Volume Group (VG)，稱為 `linux`，只包含 `/dev/mapper/cryptroot` 一個 `Physical Volume (PV)`。
- 在 VG `linux` 下，建立一個 Logical Volume (LV)，稱為 `home`，大小為 256M。
- 在 VG `linux` 下，建立一個 Logical Volume (LV)，稱為 `root`，佔據剩下的所有空間。

休息站
若前述步驟全部完成，目前的儲存架構應該長這樣：

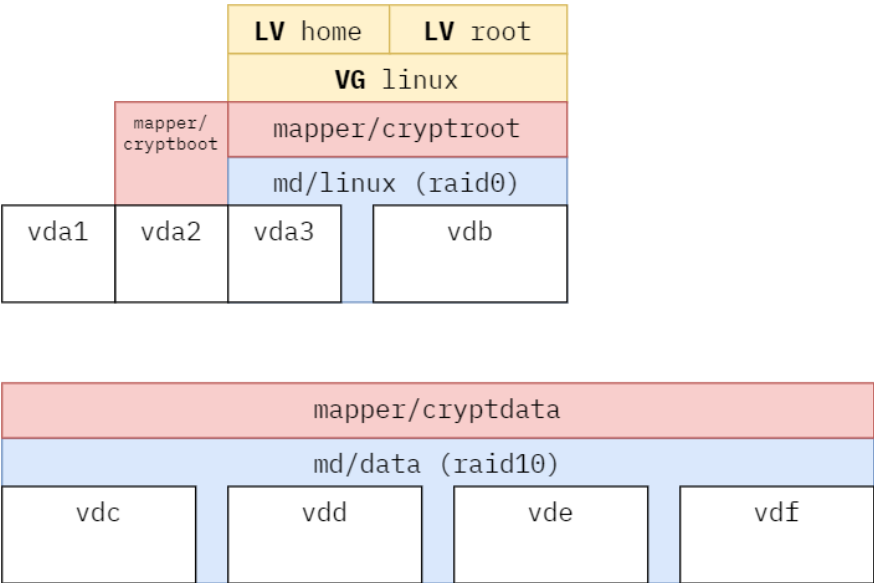


Figure 3: 儲存架構圖

5. Formatting (8 分)

請建立以下 Filesystem：

- (a) /dev/linux/home 與 /dev/linux/root 皆為 ext4。
- (b) /dev/mapper/cryptdata 為 XFS。
- (c) /dev/mapper/cryptboot 為 ext2。

6. Mounting (8 分)

請依以下指示掛載硬碟：

- (a) /dev/linux/root 掛載在 /mnt。
- (b) /dev/linux/home 掛載在 /mnt/home。
- (c) /dev/mapper/cryptboot 掛載在 /mnt/boot。
- (d) /dev/mapper/cryptdata 掛載在 /mnt/data。

7. Arch Installation (10 分)

請在 /mnt 底下安裝 Arch Linux 系統，並符合以下要求：

- 可以順利的開機
- /dev/md/linux 可以自動解密，不需要額外輸入密碼。
- 開機後，可以自動解密 /dev/vda2 與 /dev/md/data，並自動掛載。
- 承上題，解密 /dev/vda2 時，可以自動指定要解密 key slot 1。

請列出你所使用到 package，並紀錄安裝步驟。

安裝步驟提示：

- (a) 這台 VM 是以 BIOS 開機，而非 UEFI。開始安裝 Arch 前，你應該先完成前面的所有步驟，並將各硬碟依指示掛載。
- (b) 選擇 pacman mirror 後安裝以下套件：
 - Arch Linux 必要的套件：base、linux
 - RAID 及 LVM 功能：mdadm、lvm2
 - 常用工具：任意文字編輯器（如：vim）、man-db
 - 避免安裝不必要的套件（e.g. linux-firmware）以節省空間
- (c) 生成符合作業要求的 fstab。 UUID
- (d) 編輯 mkinitcpio.conf，加入必要的 HOOKS 並嵌入 keyfile。之後重新生成 initramfs。
- (e) 編輯 crypttab，設置非 root (/) 儲存裝置的解密設定。非root設定怎麼弄
- (f) 編輯 GRUB 的設定檔，設置 root (/) 儲存裝置的解密設定。之後將 GRUB boot loader 安裝。
- (g) 重新開機，確認系統如預期運作。

小提醒

- 我們建議你先閱讀這個文件，並另外開 VM 照著教學安裝一次 Arch Linux（先不管作業的要求），以熟悉安裝的流程和邏輯。
- 我們強烈建議你在嘗試的同時，記錄做過哪些設定，並以 ArchWiki 作為主要的參考資料。
- 由於此題的 filesystem 有點複雜，直接安裝可能有點困難。建議可以先練習將 root partition 放在 LVM 上、RAID 陣列中、加密磁區中，再把所需要調整的設定結合起來。
- 在使用 pacstrap 指令時，可能會跳出一些錯誤訊息。請自行找尋解決方法。

8. Trivia (32 分，每題 4 分)

以下為簡答題，若有過程中用到的指令也請一併附上。請讓你的答案簡短扼要，非必要的資訊可以省略。

- (a) 一個使用中的硬碟上除了已經切好的 partition 外，還會有什麼東西？
- (b) 在工作站上輸入 `df /` 指令時，會得到下圖的輸出，請問為什麼 `Available + Used < 1K-blocks`？

```
0 $ df /
Filesystem            1K-blocks      Used Available Use% Mounted on
/dev/mapper/ws-root 131001348 52198756  72075324  43% /
```

Figure 4: `df` 指令的輸出

- (c) 什麼是 FUSE (Filesystem in Userspace)？請簡單介紹它的原理，給出一個優點和缺點，並舉出一個在 Linux 上用了這項技術才能支援的檔案系統。
- (d) 你在幫新的硬碟建立分割區的時候可能看過 MBR 和 GPT 這兩個詞。請問他們分別代表了什麼，並列出至少兩個差別。
- (e) 許多修 NASA 的同學都會有一台同時裝了 Windows 和 Linux 的電腦。為了避免浪費儲存空間，你可能會享有同時被這兩個作業系統支援的硬碟來存放你常用的大檔案 (e.g. Steam 遊戲庫)。請找到滿足以下條件的檔案系統，並給出掛載這個檔案系統需要用到的指令 (例如：`mount -t ext4 /dev/sda /mnt`)：
- 能支援超過 4 GiB 的單一檔案
 - 兩個系統 (Windows 11, Arch Linux) 皆原生支援讀寫 (即不須另外的驅動程式/Kernel Module，且不得使用 FUSE 來掛載)
 - 在 Windows 11 下支援日誌功能 (日誌檔案系統)
- (f) 根據 SI 及 IEC 的定義，GB 和 GiB 分別指的是多少 Bytes？在工作站上使用 `ls -lh` 時，預設使用的是哪種單位呢？
- (g) 假設都是 4 個硬碟，請比較它們組成 RAID 0, RAID 10, RAID 5, RAID 6 的容錯能力、讀取速度、寫入速度。容錯能力指的是最多可以幾顆硬碟損壞而不造成資料遺失。而讀取和寫入速度則假設不需考慮計算、讀寫 parity 資料的額外時間。
- (h) 當使用 VM 時，如果發現將它的多個虛擬硬碟組成 RAID 0 時，其寫入速度和沒有 RAID 時幾乎沒有差別，請問可能會是什麼原因呢？