

現代化開機與資料安全的Linux作業系統環境

LUKS2 + TPM + UKI .efi + SecureBoot

以下都以Manjaro Linux (Arch Linux)為主

Yuan Chiu chyuaner@gmail.com

需求

我平常會隨時帶筆電外出，而且筆電硬碟裡面有放敏感資料（個人證件、公司機密...等等）

- 平常在作業系統設置登入認證（傳統密碼、指紋、人臉辨識...）
- 防止利用Live CD開機，繞過原先在主作業系統設置的登入認證，直接存取硬碟
- 也要防止硬碟被拔除，接上其他台電腦就能直接存取硬碟

這個需求，將會用到

硬碟加密+綁定這台電腦開機

- LUKS: 全分割區加密
- TPM: 為了與LUKS綁定做自動解鎖
- UKI .efi: 製作.efi直接開機啟動檔，從根本上鎖死cmdline開機參數帶入
- SecureBoot: 產生UKI時就順便簽名上SecureBoot

先說這並不是什麼新穎的東西...

- Apple電腦: T2安全晶片(or M處理器整合) + FileVault
- Windows電腦: TPM + Bitlocker

而且條件達成就會**預設啟用**

反觀Linux.....

太自由導致規格太亂，很少有Linux發行版願意好好處理 (Manjaro正常安裝流程只處理到LUKS1)

先問問有多少教學文都是叫你關SecureBoot就沒事了... 😅

解密金鑰遺失風險

- Apple電腦：反正主硬碟直接焊死在主機板不能更換，幾乎不會有和存有金鑰的晶片分開的情況。
- Windows電腦：預設啟用條件包含**要登入Microsoft帳號**，而且Win11正常安裝流程就幾乎強制要求使用者登入。然後安裝完成就會自動上傳解密金鑰到Microsoft線上帳號。所以金鑰遺失還能從Microsoft線上帳號補救。

Linux... 都手動處理了，請自己好好保管好，保險一點就多設第二、第三種解鎖途徑。

絕對絕對！！！不要拿TPM當作解鎖的唯一途徑！！！！

(每升級動到Linux核心、或BIOS升級，都有可能讓TPM自動解鎖失效)

先說：TPM 和 SecureBoot 是兩回事！！

- TPM (Trusted Platform Module): 必定跟著**這台**電腦，私鑰在TPM裡面沒有任何方法可以直接匯出、拿走，可以和硬碟加密綁定，確認只有這台電腦可以解鎖。
- SecureBoot: 只允許有正確簽名的作業系統才能啟動，不然會直接被主機板拒絕啟動。
 - 雖然我還是覺得很廢，只是大幅添增麻煩，隨便拿有SecureBoot的Live CD就可以用了。不過就因為這個麻煩，所以...有開還是會安全很多。

從需求面來講，一開始只會先花力氣處理TPM，最後在補流程漏洞的時候，才**順便**的把SecureBoot處理好

兩層密碼認證

開機流程：

BIOS → GRUB → 載入Linux過程詢問LUKS解鎖密碼 → 進入作業系統詢問登入密碼 → 進入桌面環境！！

- LUKS 直接對硬碟重要分割區加密
 - 開機即要求輸入解鎖密碼
 - 直接從根本上防止Live CD直接存取
 - 防止硬碟改接到別台電腦上能直接存取
- 作業系統登入認證
 - LUKS成功解鎖開機以後，就不再有LUKS的防護了，後續還有暫時離開用的「鎖定畫面」、要更動到系統而需要root...等。
 - 可綁定方便認證的指紋、人臉辨識

但是...我不想每次開機都要輸入兩次密碼...

對策

- TPM綁定LUKS，開機時確認是**這台電腦**就自動解鎖！通過認證！
- 開機後再由作業系統來做使用者認證

就使用體感來說：只需輸入一次密碼，還可以彈性用方便的指紋/人臉認證，又能兼顧資料安全！

LUKS硬碟分割區加密

- 要用TPM綁定，只能用LUKS2
- 但GRUB只完整支援到LUKS1...
- 對策:
 - 分割不加密的 /boot (ext4) 分割區來放GRUB與Linux核心
 - 開機時載入含LUKS解鎖功能的Linux核心之後，由Linux核心啟動程序來解鎖真正主要的LUKS2分割區
 - 但是還是有破解漏洞... 後面會詳述

LUKS1方案我也長期用過

Manjaro Linux正常安裝流程中，有開啟硬碟加密選項，那安裝程式就會用LUKS1的方式處理。

- LUKS1啟動方式：

BIOS → 載入GRUB過程中詢問LUKS解鎖密碼 → 進入GRUB選單 → 載入Linux核心 → 進入作業系統

(但無法綁定TPM自動解鎖，每次開機都得輸入兩次密碼。我那時筆電鍵盤還有點壞，造成密碼輸入很難過😓)

- 至於本次採用的LUKS2方式，會變成：

BIOS → 無加密進入GRUB選單 → 載入Linux核心過程中詢問LUKS密碼 → 進入作業系統

LUKS2方案 硬碟分割區加密規劃

磁碟

500 GB 儲存區
WDS500G3X0C-00SJG0

2.0 TB 儲存區
PNY CS3030 2TB SSD

2.0 TB 儲存區
/dev/nvme1n1

型號 PNY CS3030 2TB SSD (CS303134)
序號 PNY214321102101C837E
容量 2.0 TB (2,000,398,934,016 位元組)
分割區 GUID 分割表

儲存區(V)

檔案系統
分割區 1 : esp
1.1 GB FAT

檔案系統
分割區 2 : boot
215 GB Ext4

分割區 3 : root
1.8 TB LUKS

檔案系統
1.8 TB Btrfs

容量 1.8 TB — 剩餘 526 GB (70.5% 滿)
內容 Btrfs — 已掛載於 [檔案系統根](#)
裝置 /dev/mapper/cryptroot

11

TPM Trusted Platform Module

需求上的主要目的：確認就是這一台電腦！！

- 私鑰在TPM晶片內無法匯出，無法被偽造
- 可以設定PCR來決定嚴格程度
- 現代電腦應該都有TPM晶片

TPM PCR

- PCR 7: 只會檢查SecureBoot開關，已實測若在Live CD環境下，也會因為符合此條件而造成自動解鎖

PS. 也呼應前面我所說的，SecureBoot其實有夠廢😂

- PCR 4+5+7 （我現在在用的）
 - PCR 4: 檢查當前作業系統核心環境
 - PCR 5: GPT硬碟分割表有無被更動
 - PCR 7: 是否有更動SecureBoot開啟開關

將目前環境綁定到LUKS

```
sudo systemd-cryptenroll /dev/nvme1n1p3 --wipe-slot=tpm2 --tpm2-device=auto --tpm2-pcrs=4+5+7
```

- 查看目前LUKS的認證途徑

```
sudo systemd-cryptenroll /dev/nvme1n1p3
```

- 以原生luks的查詢指令

```
sudo cryptsetup luksDump /dev/nvme1n1p3
```

這樣就安全了嗎？你有沒有想到可以下開機參數繞過？

然後又因為TPM環境條件成立而觸發LUKS自動解鎖
等於 LUKS認證 + 作業系統登入認證都被繞過了...

可以透過cmdline開機參數繞過的方式

- 進入單人模式（一堆忘記root密碼的教學文章都是用這個解法）
 - 但是可以透過改 `/etc/systemd/system.conf` or `rescue.service` or `/etc/shadow` 等設定檔的方式，來強制要求進入單人模式也要先通過root密碼認證
- 利用 `init=/bin/bash` 繞過任何程序，直接進入shell
 - 💣 **完全無解！** 完全沒有中間環節可以強制加入登入認證。

➡ 所以只能用鎖死cmdline的方式來處理

至於你可能會想問：鎖死cmdline後，若系統壞掉臨時需要下cmdline臨時開機的話不就...？後面會詳述

你可能會想到鎖死cmdline的解法...

針對更前面的環節：

- GRUB鎖上？
 - 你要多記GRUB密碼，而且因為GRUB是安裝在未加密 /boot 分割區，可以透過 Live CD直接修改 /boot 內容修改 grub.cfg來強行加入惡意參數。
- BIOS鎖上？
 - 一樣你得多記BIOS密碼，而且硬碟拔到別台電腦就可以直接修改未加密 /boot 分割區內容，又會回到上面的問題。
- 那連同GRUB也一起加密...? 恩，前面有說GRUB還不支援LUKS2，LUKS1又不能綁TPM。

UKI Unified kernel image

UKI會將 Linux initramfs + vmlinuz + ucode整個打包，合併成一個 .efi 映像檔

- 不需經過GRUB這類的開機啟動器引導，直接由BIOS就直接啟動Linux作業系統
 - 不過如果喜歡GRUB的話，還是可以由GRUB引導
 - 但僅是理論，是因為若要啟用SecureBoot，情況又會不同，後述。
- 從根本上直接把cmdline鎖死，不接受任何外來開機參數
- 打包後還可以綁定加上簽章，進一步的支援SecureBoot開機！！
 - 這就是我說，我本來沒有想要處理SecureBoot，但到了這一步就想說都已經這麼順便了，就來順便處理吧～

關於SecureBoot...

順便讓我抱怨一下，SecureBoot真的是個很廢的東西...

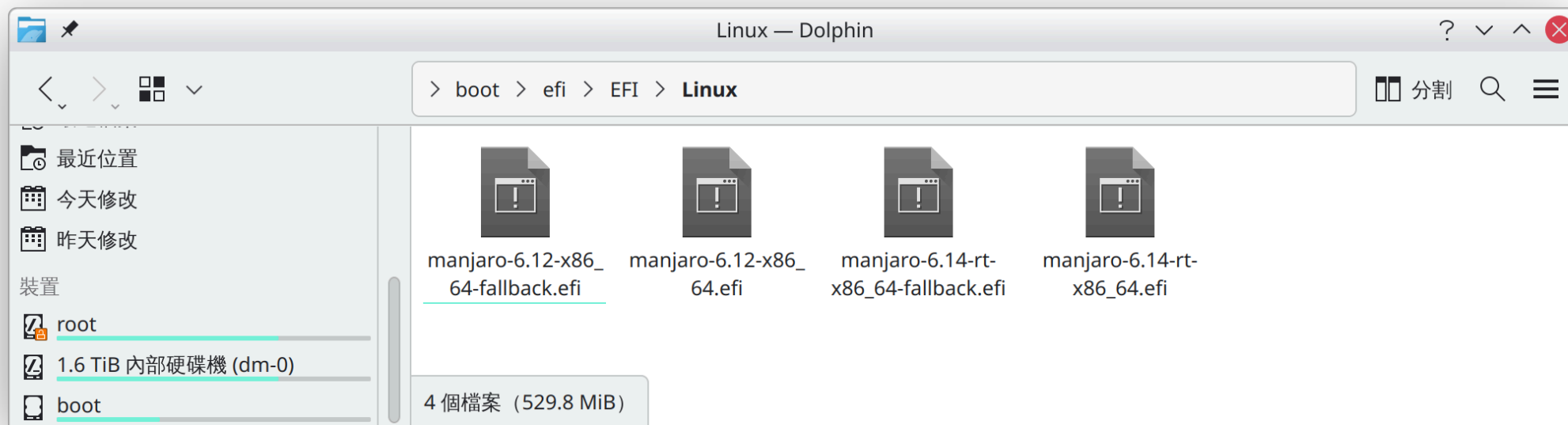
- SecureBoot真的非常難搞，而且花了一整天or以上的力氣處理好，換來的效益就只是多了看到 `Secure Boot: enabled (deployed)` 字樣，好爽 好棒棒 😊
- SecureBoot只能擋住不正常的作業系統被載入。但是作業系統載入後就不關SecureBoot的事了。在作業系統內遇到惡意軟體，該中的毒還是會中。
- SecureBoot不會保護你的資料安全，拿有SecureBoot簽名的Live CD開機，若你原本就沒有把硬碟鎖好，該被亂搞的還是會被搞。

產出UKI前要做的事

- 開機參數要先設定好在 `/etc/kernel/cmdline` （因為UKI .efi啟動不再依賴GRUB等外來開機參數，而且會直接鎖死）
 - 可直接把GRUB的 `GRUB_CMDLINE_LINUX_DEFAULT` 抄過來
 - 有上LUKS加密的話，不能依賴 `/etc/crypttab` ，一定要把完整的加密掛載資訊全寫進 `/etc/kernel/cmdline` 裡（我在這個坑踩非常久😓）

產出 .efi 的方式：

- 自行手動下命令產出
- 掛上mkinitcpio/dracut hook，在日後安裝/升級Linux核心的時候，就自動產出對應的UKI
- 產出 .efi 後，再來看你要不要順便在.efi加上簽名，這樣就可以啟用SecureBoot。



Linux要啟用SecureBoot的方式有兩種

透過shim層

- 對BIOS來說，是對shim啟動，然後由shim去啟動GRUB
- shim層自帶Microsoft簽名，可直接用於多數主機板，不需要額外更改BIOS設定

不經過中介層，由BIOS直接啟動

- 需要自行進BIOS設定，然後把你的簽名匯入進BIOS白名單
- 前提是：BIOS設定必須要有選項可以讓你自行匯入簽名

在 .efi 與 initramfs 檔案上加入簽名，啟用 SecureBoot

1. 建立MOK簽章 (以 `openssl req -newkey ...` 的方式)
2. 使用 `sbsign` 為你的 .efi 與 initramfs加入簽名
 - `sbsign --key /usr/share/secureboot/keys/MOK.key --cert /usr/share/secureboot/keys/MOK.crt --output <來源.efi路徑> <產出.efi路徑>`
 - 也可以在手動ukify產UKI .efi的時候就直接指定你的簽章
3. 進入shim MOK Manger / BIOS SecureBoot設定，把你的簽章匯入
4. 在BIOS設定把SecureBoot Enable，測試
5. 掛上mkinitcpio/dracut hook，在日後安裝/升級Linux核心並產完UKI .efi後，自動把簽名加上

UKI 製作完成後

加入至BIOS開機選單，由BIOS直接開機

```
sudo efibootmgr --unicode --disk /dev/nvme1n1p1 --part 1 --create --label "Manjaro-6.12" --loader /EFI/Linux/manjaro-6.12-x86_64.efi
```

加入至GRUB開機選單

- 手動編輯 `/etc/grub.d/40_custom` 檔案，加入選單，以chainloader的方式啟動 .efi 檔案開機

```
menuentry "Manjaro Linux (UKI linux-6.12.28-1)" --class manjaro {  
    insmod fat  
    insmod chain  
    search --no-floppy --set=root --fs-uuid 11E4-A147  
    chainloader /EFI/Linux/linux-6.12.28-1-MANJARO-bdf473ff6a384cf7b761270259c00933-rolling.efi  
}
```

UKI 製作完成後

自動加入至GRUB開機選單

可以使用我調好的腳本，
這個腳本的項目設計，是盡量比照傳統的
風格 預設項目+Advanced options子選
單，並以版號順序排序。



Choose an operating system

Select an OS to boot



Manjaro Linux (UKI) - manjaro-6.14-rt-x86_64.efi

Advanced options for Manjaro Linux (UKI)



Manjaro Linux

Advanced options for Manjaro Linux



UEFI Firmware Settings



Linux Live CD



Memory Tester (memtest86+)



Reboot / Shutdown

ENTER Boot

↑ ↓ Navigate selection

E Edit

C Console

UKI 製作完成後

自動加入至GRUB開機選單

使用方式：將 `09_uki` 複製到 `/etc/grub.d/` 裡面，
之後在update-grub的時候就會自動搜尋 `/boot/efi/EFI/Linux` 裡面的所有 `.efi` 檔。

不過因為我的需求只有Manjaro，名稱的部份是直接寫死的，請自行依需求修改。如果有人可以再優化，歡迎PR給我！！

要注意！update-grub執行順序必須是在掛上mkinitcpio/dracut產完.efi檔之後！不然會因為抓不到.efi檔案而沒編入進選單。

改以UKI模式為預設開機以後，那傳統initramfs模式要？

UKI .efi 基本上就是把cmdline完全封死！不接受任何外來開機參數！

- 最安全最直接的辦法，就是直接把 `/etc/grub.d/10_linux` 停用掉，把 `/boot/` 裡面和 `initramfs`, `vmlinux`等相關檔案都刪掉，完全只由 `.efi` 檔案開機。但這樣就封死 `fallback` — 系統壞掉時能臨時處理的路了。
- 或是多製作 `fallback` 專用的UKI .efi（不過依然不能由GRUB下cmdline，我覺得面對一堆千奇百怪的狀況，修復用途還不能自訂cmdline就沒有實質意義）

改以UKI模式為預設開機以後，那傳統initramfs模式要？


我的做法是：

- UKI模式 與 傳統initramfs模式並存！！
- 對TPM PCR來說，這兩個是不同的環境。（前提是PCR規則不要只用PCR=7）
- 可以把cmdline鎖死的**UKI模式**，拿來與**TPM+LUKS**綁定用來開機自動解鎖。
- 若系統故障需要臨時下cmdline處理的話，就使用傳統initramfs模式。反正在傳統模式下，就算以開機參數強行繞過作業系統認證這層，但因為此模式不在TPM PCR接受的環境下，必定會先觸發LUKS的詢問解鎖傳統密碼擋下。

再來就是... 實做方式

處理前的狀況

- 已拿整顆硬碟，以正常安裝流程安裝Manjaro Linux
- 當初只有三個**未加密**分割區: EFI ESP, BTRFS, SWAP

 目標：盡量在最小改動、不重灌乾淨系統的情況下，全部做到前面所說的LUKS2 + TPM + UKI .efi + SecureBoot

目標

1. 希望整台 Manjaro 電腦都加密（使用 LUKS）
2. 開機時使用 TPM 無密碼解鎖
3. 進入作業系統後以指紋登入，避免敲鍵盤
4. 即使 TPM 綁定無法解鎖，也希望能有備援解法（密碼/FIDO）
5. 不想重灌，想透過備份方式導入加密

準備隨身硬碟，把全系統倒出來

- 我以往都是用Clonezilla做全硬碟映像檔備份，但...
- 本次需求需要製作LUKS分割區，LUKS**需要額外空間**存放加密資訊與認證資訊，造成主分割區勢必要縮小
 - Clonezilla原則上只能還原到比原先容量更大的分割區

我的硬碟分割表設計

處理前

- ESP
- BTRFS
 - @
 - @home
- SWAP

處理後

- ESP
- /boot
- LUKS2
 - BTRFS
 - @
 - @home
 - @swap

然後再把資料倒回來

1. 主硬碟完全清空格式化（清空方式直接用nvme reset，順便恢復SSD壽命）
 - 進Parted Magic Live CD，裡面有工具可以nvme reset
 - 進BIOS設定，由BIOS直接對SSD做nvme reset
2. 重新分割硬碟，

/boot 與 / 現在共用 Btrfs，是否能在不重灌的情況下分離？

1. 準備一個獨立分割區，格式化成 `ext4` 給 `/boot` 用（例如 `/dev/sda1`）。
2. 在 Live CD 裡掛載原本的 `/`（Btrfs）與新的 `/boot`（`ext4`）。
3. 搬移原本的 `/boot` 目錄內容到新的 `/boot` 分割：

```
mount /dev/sdXY /mnt/boot
mount /dev/your-btrfs /mnt
cp -a /mnt/boot/* /mnt/boot_new/
```

4. 修改 `/etc/fstab` 加上新的 `/boot` 掛載點
5. `chroot` 進入系統後，重新安裝 GRUB 到 EFI（或 MBR）並更新 bootloader：

```
grub-install --target=x86_64-efi --efi-directory=/boot/efi --bootloader-id=Manjaro
update-grub
```

其他 Linux Distro 的情況

以下都是「聽說」

- Fedora
- Debian