

# 進階行動通訊網路

## 課程實驗LAB

教授 :張宏慶

[jang@cs.nccu.edu.tw](mailto:jang@cs.nccu.edu.tw)

助教 :王盛泰

[110753147@nccu.edu.tw](mailto:110753147@nccu.edu.tw)

## 實驗繳交時間與規定

- 檔案名稱: 行動通訊網路\_學號\_Lab.pdf
- 頁數不拘，需依照各項實驗要求繳交截圖或相關資料
- 一人繳交一份（可討論，勿抄襲）  
很重要！未依格式繳交與以扣分，尤其是檔案名稱
- 收到作業會回信（請自行確認）
- 實驗繳交時間：2023/06/08 23:59
- 有任何問題可以寄信到下列信箱 110753147@nccu.edu.tw
- 實驗室：大仁樓#200208 MCLAB3

## 實驗主題

- 官方網站: <https://www.free5gc.org/>
- free5GC 為開源的 5G 核心網路實作的專案
- 此 5G 核心網路依照 3GPP Release 15 的標準實作



# 實驗大綱

後續實驗我們會建立一共7個VM，扮演不同的網路節點，每個實驗用到的VM不盡相同，為了避免混淆，後續稱呼某台VM就會用下表的名稱

VM名稱	free5gc	UERANSIM	upf1	upf2	gnb	ue	server
ip(192.168.56.000)	101	102	103	104	105	106	110

實驗一：free5GC 的安裝與測試

實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

實驗三：UE 使用不同的網路切片

實驗四：更改網路拓樸

實驗五：5G 場景模擬

附錄：有附以前助教錄過的影片、實驗會用到的小知識以及投影片勘誤

## 實驗前準備-環境建置

- 安裝VirtualBox
- 下載Ubuntu Server 20.04 LTS iso檔
- 設定虛擬機並設定網路
- 安裝系統到VM上

# 1. 安裝VirtualBox

VirtualBox官網：<https://www.virtualbox.org>



## 2. 下載Ubuntu Server

Ubuntu官網：<https://ubuntu.com/download>

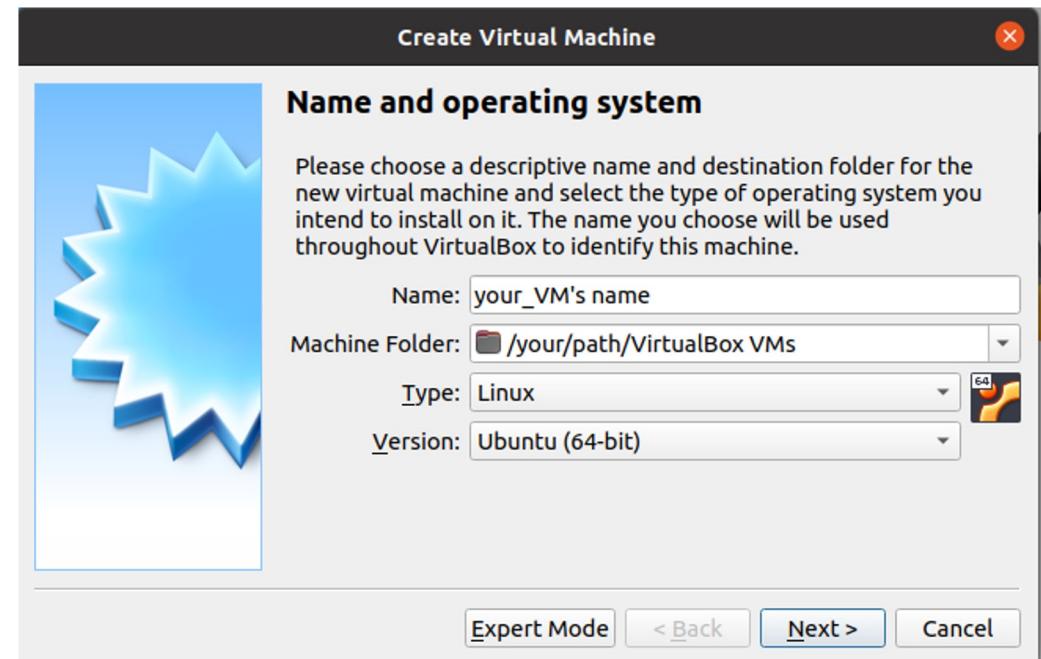
- 請下載Ubuntu-20.04 LTS這個版本（以避免後續實驗無法預期的版本問題）

The screenshot shows the Ubuntu download page with several options:

- Multipass:** Using Ubuntu in virtual machines? Try Multipass.
- Ubuntu Server:** Whether you want to configure a simple file server or build a fifty thousand-node cloud, you can rely on Ubuntu Server and its five years of guaranteed free upgrades.
- Ubuntu Cloud:** Ubuntu is the reference OS for OpenStack. Try Canonical OpenStack on a single machine or start building a production cloud on a cluster — just add servers.
- Ubuntu flavours:** Ubuntu flavours offer a unique way to experience Ubuntu with different choices of default applications and settings, backed by the full Ubuntu archive for packages and updates.
- Windows Subsystem for Linux (WSL):** Use the Ubuntu terminal and run Linux applications on Windows.

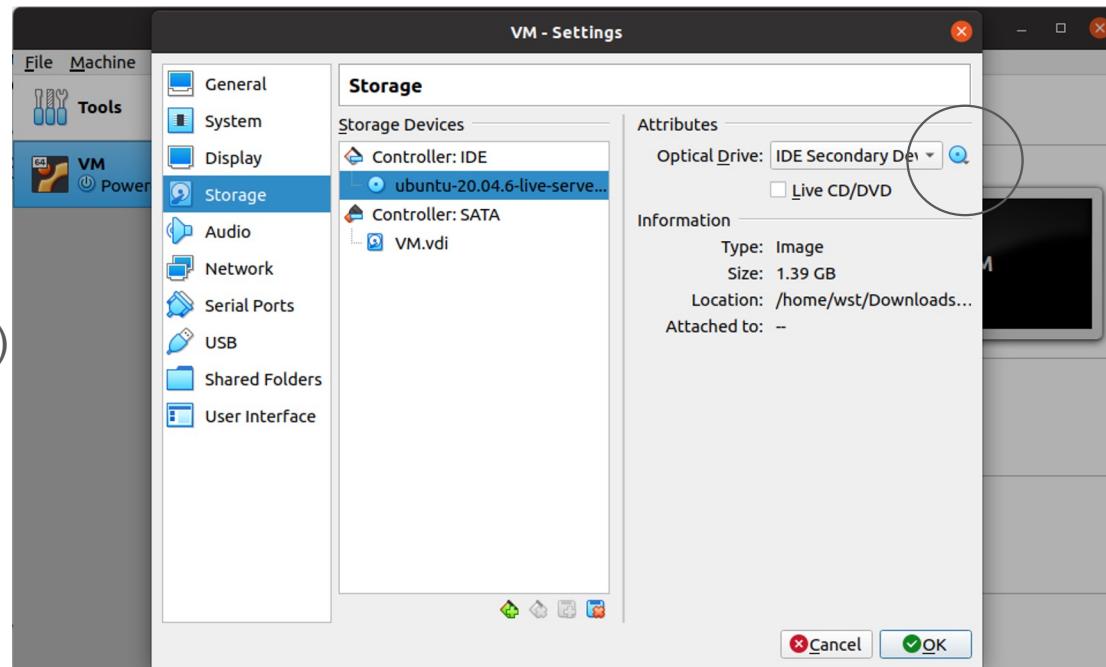
### 3. 設定VM與網路

- 點選New，新建一個VM
- 設定你的VM名稱與Folder
- Type : Linux
- Version : Ubuntu(64-bit)
- Memory size : 4096 (自訂，跑得動就好)
- disk size : 10GB (自訂，夠用就好)
- 其餘設定可以自選或都不用改



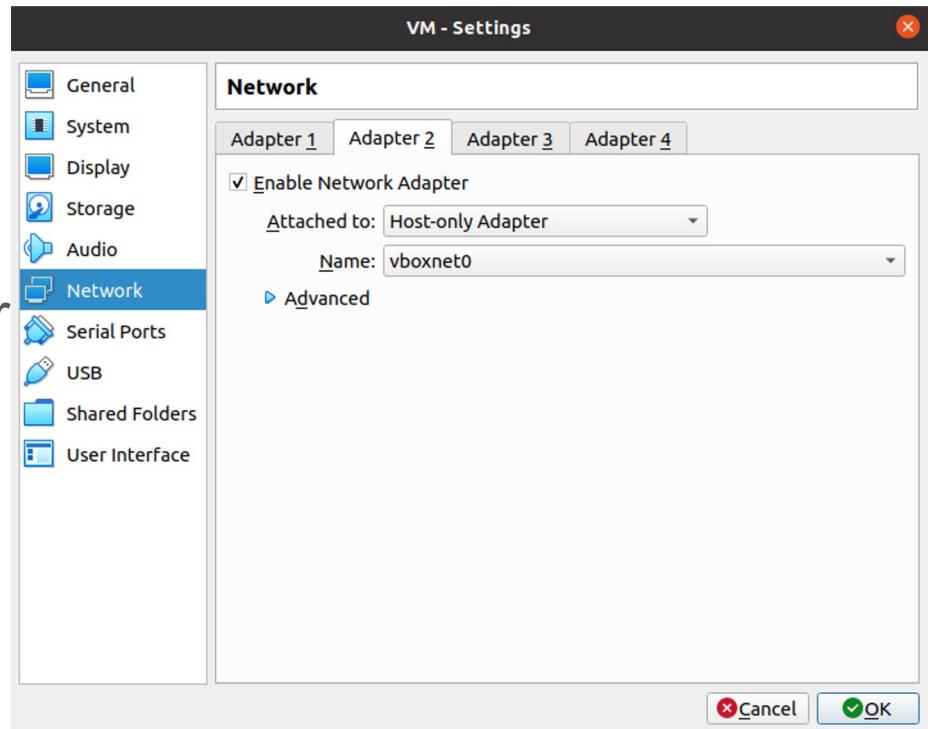
### 3. 設定VM與網路

- 點選setting>storage
- 將iso檔放入VM(圈圈處選取)



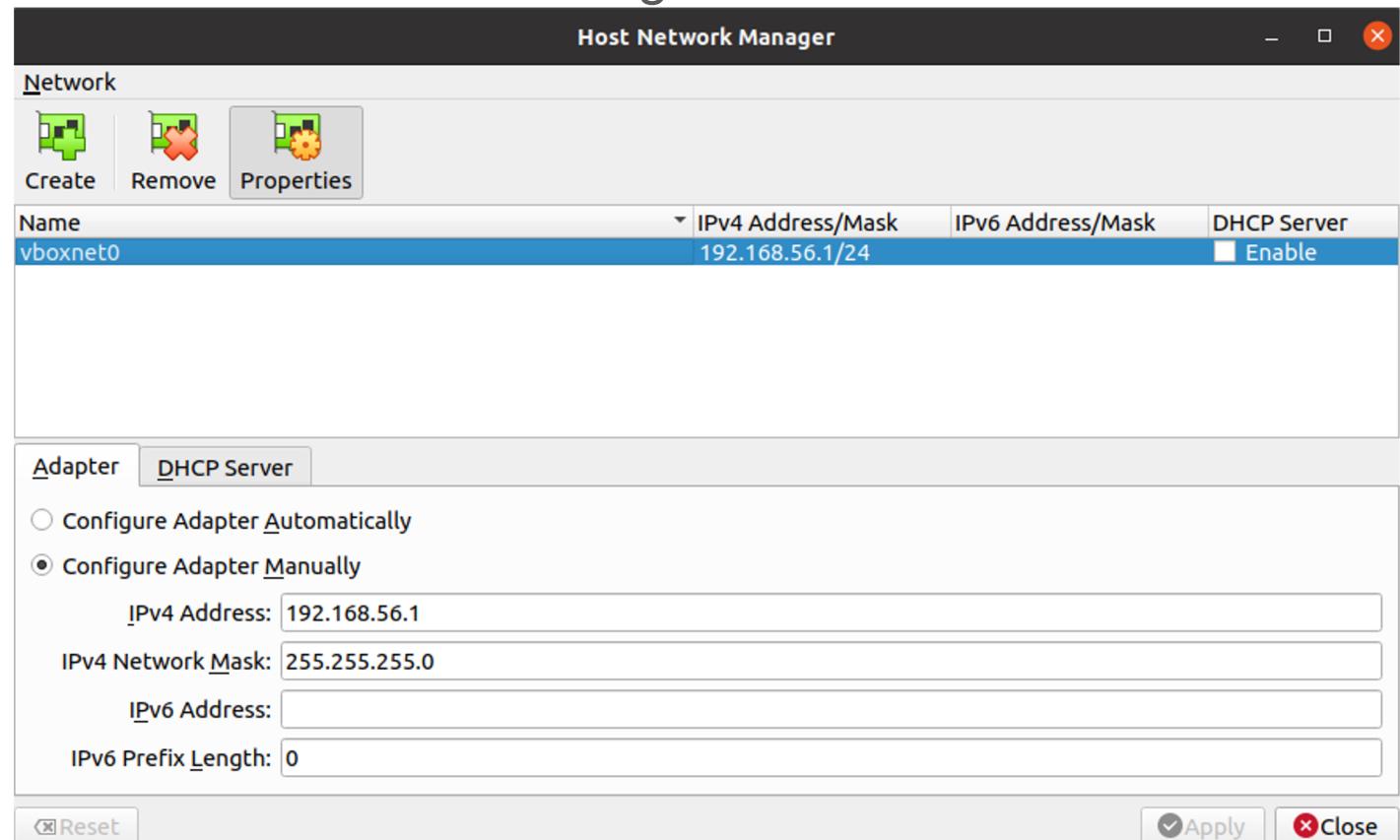
### 3. 設定VM與網路

- 接續點選Network
- Adapter2>Enable Network Adapter
- Attached to : Host-only Adapter
- 最後點選OK



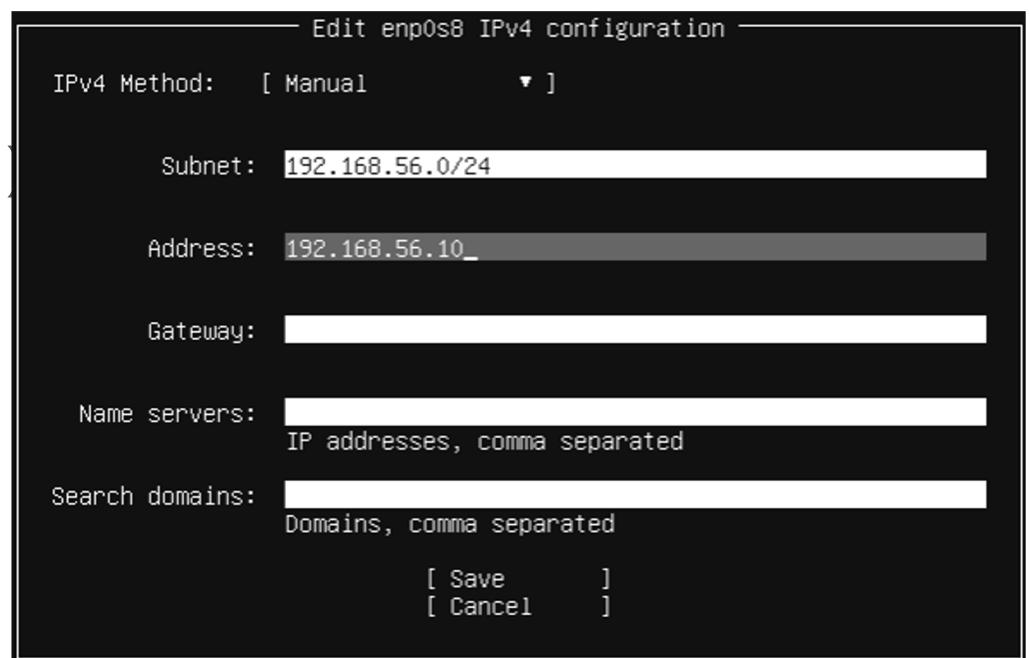
### 3. 設定VM與網路

- 回VM manager畫面點選File>Host Network Manager
- 設定如圖



## 4. 安裝系統到VM上

- 開啟VM，如果記憶體與硬碟足夠，而且映像檔沒有損壞的話，一開始會進到選擇語言的畫面
- 大部分選項可以不動，但要修改Network Connection（所以記得不要按太快）
- 修改enp0s8>IPv4
  1. 取消DHCP改成Manual
  2. 設定Subnet與Address（其他不動）
- 其餘設定自選
- 網路也可以安裝完再另外設定



# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

- 運用剛剛的安裝方法，建立一台free5gc的VM

由於後面會需要多台VM(共7台)所以適當的取名會讓操作比較不會眼花

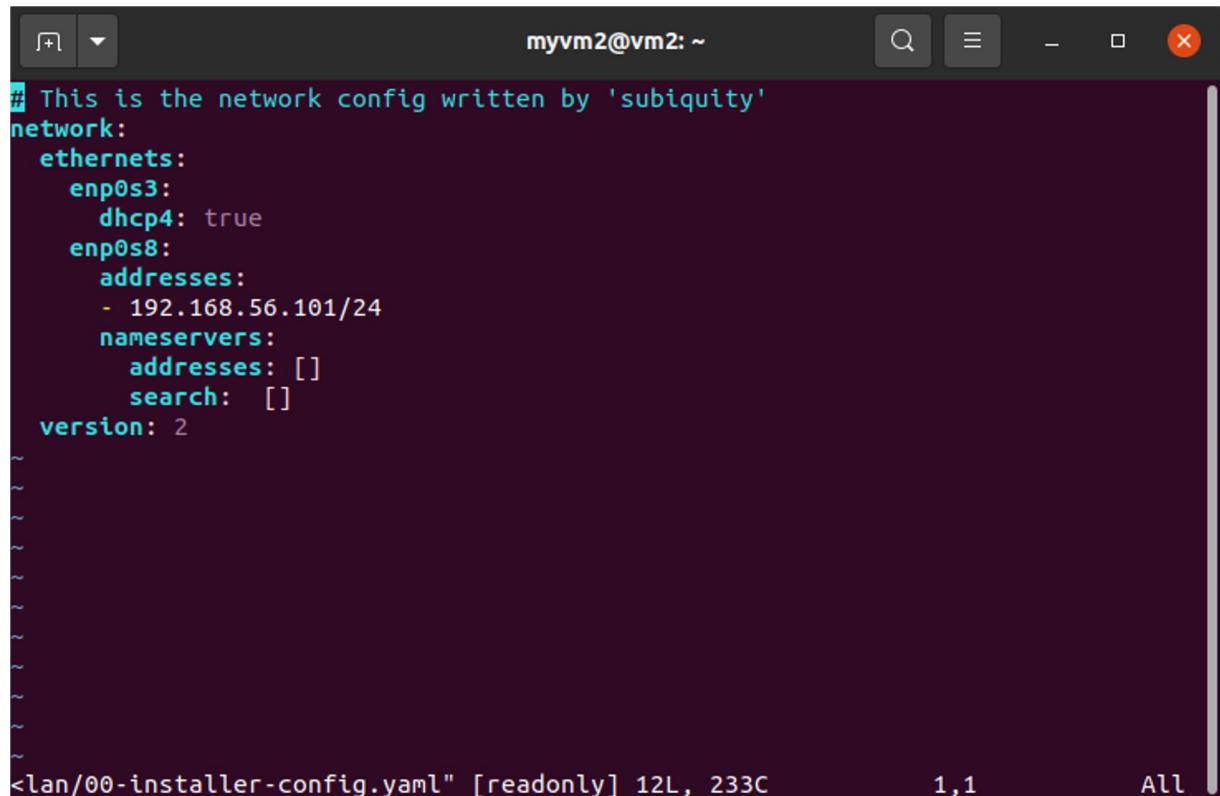
例如：free5gc, UERANSIM.....

- 在建置VM時，我們設定IP為192.168.56.10，而實驗一將free5gc設定為192.168.56.101
- 若你已經安裝好了才要改ip，可以去/etc/netplan/01-network-manager-all.yaml修改配置，最後再執行sudo netplan apply

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

另外修改ip的範例如圖

( 安裝時已設定好可忽略 )



```
# This is the network config written by 'subiquity'
network:
  ethernets:
    enp0s3:
      dhcp4: true
    enp0s8:
      addresses:
        - 192.168.56.101/24
      nameservers:
        addresses: []
        search: []
  version: 2
```

The screenshot shows a terminal window with a dark background and light-colored text. The title bar reads "myvm2@vm2: ~". The window contains a single line of code representing a network configuration in YAML. The code defines a network section with two interfaces: "enp0s3" and "enp0s8". The "enp0s3" interface uses DHCP, while the "enp0s8" interface has a static IP address of 192.168.56.101 with a subnet mask of 24. Both interfaces have an empty list of nameservers. The "version" field is set to 2. At the bottom of the terminal, there is a status bar with the path "<lan/00-installer-config.yaml" [readonly] 12L, 233C", the line number "1,1", and the word "All".

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

接著安裝free5gc，步驟包括：

- 一些安裝過程需要的工具
- 安裝Go
- 安裝Mongodb
- 安裝free5gc需要的工具
- 安裝free5gc

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

安裝需要的工具：

sudo apt update

sudo apt upgrade

sudo apt install wget

sudo apt install git gcc g++ make autoconf libtool pkg-config libmnl-dev libyaml-dev

sudo snap install cmake --classic

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

安裝GO：

cd ~

wget <https://go.dev/dl/go1.16.2.linux-amd64.tar.gz>

sudo tar -C /usr/local -xzf go1.16.2.linux-amd64.tar.gz

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

安裝GO：

將環境變數的設定加入.bashrc檔，這樣重開機設定也會保留

```
mkdir -p ~/go/{bin,pkg,src}
cat <<EOF >> ~/.bashrc
export GOPATH=\$HOME/go
export GOROOT=/usr/local/go
export PATH=\$PATH:\$GOPATH/bin:\$GOROOT/bin
export GO111MODULE=auto
EOF
source ~/.bashrc
```

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

確認安裝GO：

go version

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

安裝Mongodb：

sudo apt -y update

sudo apt -y install mongodb

sudo systemctl start mongodb

安裝其他需要的工具：

go get -u github.com/sirupsen/logrus

\* 若有奇怪的訊息，可以先去 `go/src/github.com/` 目錄看看有沒有sirupsen資料夾

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

開啟routing功能(此頁還會用到)：

sudo bash -c 'sysctl -w net.ipv4.ip\_forward=1 >> /etc/sysctl.conf'

sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -o enp0s3 -j MASQUERADE

sudo systemctl stop ufw

sudo systemctl disable ufw

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

安裝 free5GC 核心網路：

cd ~

git clone -b v3.1.1 --recursive https://github.com/free5gc/free5gc.git

cd free5gc

make

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

安裝 gtp5g :

cd ~

git clone https://github.com/PrinzOwO/gtp5g.git

cd gtp5g

make

sudo make install

確認gtp5g module是否存在：

lsmod | grep gtp

# 實驗一：Free5gc的安裝與測試

測試free5gc網路，如果在看到 Pass 字樣前都沒紅色的 Error，代表安裝成功：

cd ~/free5gc

./test.sh TestRegistration

Lab 1：請將 free5GC 安裝與測試的執行成功結果截圖

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

- 再建立一台UERANSIM VM，用來模擬UE
- 安裝UERANSIM
- 在free5gc上安裝webconsole
- 用webconsole註冊UE資料
- 修改free5gc參數
- 修改UERANSIM參數
- 測試free5gc, UERANSIM連接

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

### 建置UERANSIM VM

- 依照先前方式建置VM，設定ip為192.168.56.102
- 安裝相關工具

sudo apt update

sudo apt upgrade

sudo apt install make

sudo apt install g++

sudo apt install libsctp-dev lksctp-tools

sudo apt install iproute2

sudo snap install cmake --classic

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

### 建置UERANSIM VM

- 安裝UERANSIM

cd ~

git clone https://github.com/aligungr/UERANSIM

cd ~/UERANSIM

make

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

### 安裝free5gc webconsole

- 若free5gc VM有重開過，需要再次開啟routing功能（見實驗一的開啟routing頁）
- 移除有可能造成錯誤的套件

`sudo apt remove cmdtest`

`sudo apt remove yarn`

- 安裝node.js

`sudo snap install node --classic`

- 編譯webconsole

`cd ~/free5gc`

`make webconsole`

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

用webconsole註冊UE資料

- 開啟webconsole server  
cd ~/free5gc/webconsole  
go run server.go
- 用瀏覽器開啟網址 <http://192.168.56.101:5000>
- 登入畫面的帳號為 admin 密碼為 free5gc

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

用webconsole註冊UE資料

- 登入後可以看到左側 Subscribers
- 選取 Subscribers 並新增一筆資料
- 注意除了Operator Code Type 選擇 OP 外，其他欄位先保留預設資料，供後續模擬器使用
- 新增完成後，終端機按 Ctrl-C 就可停止 WebConsole

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

設定free5gc核心網路參數：

- 修改 ~/free5gc/config/amfcfg.yaml  
ngapIpList 的 IP 設為 192.168.56.101 ( 大概在第7行附近 )
- 修改 ~/free5gc/config/smfcfg.yaml  
將 userplane\_information / up\_nodes / UPF / interfaces / endpoints 裡的 IP 從 127.0.0.8 改成 192.168.56.101
- 修改 ~/free5gc/config/upfcfg.yaml  
將 gtpu 裡的 IP 從 127.0.0.8 改成 192.168.56.101 ( 大概在22行附近 )

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

設定UERANSIM參數：

- 修改 ~/UERANSIM/config/free5gc-gnb.yaml  
    將 ngapIp 裡的 IP 從 127.0.0.1 改成 192.168.56.102  
    將 gtpIp 裡的 IP 從 127.0.0.1 改成 192.168.56.102  
    將 amfConfigs 裡的 IP 從 127.0.0.1 改成 192.168.56.101
- 修改 ~/UERANSIM/config/free5gc-ue.yaml  
    將 opType 從 OPC 改成 OP

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

測試free5gc與UERANSIM連接：

- 確認路由設定正確（實驗一routing那頁）

在 free5GC VM 執行下列指令：

- sudo iptables -I FORWARD 1 -j ACCEPT
- cd ~/free5gc
- ./run.sh

此時 5G 核心網路啟動

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

開啟2個UERANSIM視窗(ssh,tmux,tty皆可)

- 視窗 1 : 執行 gNodeb  
cd ~/UERANSIM  
build/nr-gnb -c config/free5gc-gnb.yaml
- 視窗 2 : 建立 UE 連線通道  
cd ~/UERANSIM  
sudo build/nr-ue -c config/free5gc-ue.yaml
- 視窗 3 : 檢查通道建立及測試連線  
ip link

在UERANSIM測試連線

- ping -I uesimtun0 8.8.8.8  
ping 結果有回應代表有成功運作

## 實驗二：單一 UE 與 5G 核心網路連線建立

- 完成上述實驗步驟成功截圖  
以及回答下列問題
1. 請問在實驗過程中更改的 free5GC 以及 UERANSIM 參數的目的是為何？
  2. 如果將 ping -I uesimtun0 8.8.8.8 改為 ping 8.8.8.8 也有可能會成功回應。  
請說明兩者之間的差異
  3. 在 /etc/resolv.conf 加上 nameserver 8.8.8.8，  
並執行 tracepath www.google.com，說明此回應是否有經過 5G 核心網路。  
若否，請問要如何設定才能使 tracepath 的封包 經過 5G 核心網路。

## 實驗三：UE 使用不同的網路切片

- 確認 free5GC VM 的 WebConsole 裡的註冊資料有兩個以上的 網路切片
- 確認註冊的 S-NSSAI 是否在 nssfconfig.yaml 裡有支援
- 確認 smfcfg.yaml 的 snssailInfos 有兩個以上的切片以及符合註冊的網路切片
- 修改 ~/free5gc/config/upfcfg.yaml
- 修改 ueransim VM 的 ~/UERANSIM/config/free5gc-gnb.yaml
- 修改 ueransim VM 的 ~/UERANSIM/config/free5gc-ue.yaml
- 執行free5gc, gnb, ue

## 實驗三：UE 使用不同的網路切片

- 修改 ~/free5gc/config/upfcfg.yaml : 新增DNN

‘+’ 號的內容是要新加入的

```
dnn_list:  
  - dnn: internet # Data Network Name  
    cidr: 10.60.0.0/24 # Classless Inter-Domain Routing for assigned IPv4 pool  
+  - dnn: internet  
+    cidr: 10.61.0.0/24  
    # [optional] dnn_list[*].natifname  
    # natifname: eth0
```

## 實驗三：UE 使用不同的網路切片

- 修改 ueransim VM 的 ~/UERANSIM/config/free5gc-gnb.yaml : 新增網路切片  
‘+’ 號的內容是要新加入的

```
# List of supported S-NSSAIs by this gNB
slices:
+ - sst: 0x1
+   sd: 0x112233
- sst: 0x1
  sd: 0x010203
```

## 實驗三：UE 使用不同的網路切片

- 修改 ueransim VM 的 ~/UERANSIM/config/free5gc-ue.yaml : 新增網路切片  
‘+’ 號的內容是要新加入的 ‘-’ 號的內容是要刪除的（若原本沒有就不管）

```
# Operator code (OP or OPC) of the UE
op: '8e27b6af0e692e750f32667a3b14605d'
# This value specifies the OP type and it can be either 'OP' or 'OPC'
- opType: 'OPC'
+ opType: 'OP'
# Authentication Management Field (AMF) value
amf: '8000'
# IMEI number of the device. It is used if no SUPI is provided

slice:
    sst: 0x01
    sd: 0x010203
+   - type: 'IPv4'
+   apn: 'internet'
+   slice:
+     sst: 0x01
+     sd: 0x112233

# Configured NSSAI for this UE by HPLMN
configured-nssai:
    - sst: 0x01
      sd: 0x010203
+   - sst: 0x01
+   sd: 0x112233

# Default Configured NSSAI for this UE
```

## 實驗三：UE 使用不同的網路切片

- 確定 free5GC VM 的路由設定正確
- 在 free5GC VM 執行下列指令

sudo iptables -I FORWARD 1 -j ACCEPT

cd ~/free5gc

./run.sh

\* 若執行指令前 5G 核心網路已經啟動，請 Ctrl-C 中止 5G 核心網 路並重新執行 run.sh

## 實驗三：UE 使用不同的網路切片

- 若在上步驟前 gNodeB 及 UE 都已執行，一樣 Ctrl-C 中止
- UE 使用不同的網路切片

在 ueransim VM 以不同的視窗執行下列指令

- 視窗 1：執行 gNodeB

cd ~/UERANSIM

build/nr-gnb -c config/free5gc-gnb.yaml

- 視窗 2：建立 UE 連線通道

cd ~/UERANSIM

sudo build/nr-ue -c config/free5gc-ue.yaml

## 實驗三：UE 使用不同的網路切片

- UE 使用不同的網路切片

在 ueransim VM 以不同的視窗執行下列指令

- 視窗 3：檢查通道建立及測試連線

檢查通道建立：

ip link

此時應有 2 個 uesimtun 的網路界面 eg. uesimtun0, uesimtun1

測試連線：

ping -l uesimtun0 8.8.8.8

ping -l uesimtun1 8.8.8.8

ping 結果有回應代表有成功運作

## 實驗三：UE 使用不同的網路切片

- 完成上述實驗步驟成功截圖 以及 回答下列問題  
1. 說明產生出來的兩個通道的差異為何，與先前的 Lab2 相比 的 5G 核心網路 有什麼差別。

## 實驗四：更改網路拓樸

- 確定 free5gc VM 的 webconsole 有註冊 UE 的資料
- 複製 free5gc VM 並分別建立兩個 VM 為 upf1 以及 upf2
- 把 upf1 與 upf2 的 IP 固定為 192.168.56.103 、 192.168.56.104
- 修改 free5gc VM 的 檔案
- 修改 upf1 VM 的 檔案
- 修改 upf2 VM 的 檔案
- 複製 ueransim VM 為新的 gnb VM 以及 ue VM
- 固定 gnb VM 以及 ue VM 的 IP 為 192.168.56.105 以及 192.168.56.106
- 修改 gnb VM 的 檔案
- 修改 ue VM 的 檔案
- 執行網路各個元件

## 實驗四：更改網路拓樸

- 確定 free5gc VM 的 webconsole 有註冊 UE 的資料
- 複製 free5gc VM 並分別建立兩個 VM 為 upf1 以及 upf2
- 把 upf1 與 upf2 的 IP 固定為 192.168.56.103 、 192.168.56.104
- 修改 free5gc VM 的 ~/free5gc/config/amfcfg.yaml 檔案  
在 supportDNNList 新增 internet2

```
supportDnnList: # the DNN (Data Network Name) list supported by this AMF
  - internet
+  - internet2
nrfUri: http://127.0.0.10:8000 # a valid URI of NRF
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 free5gc VM 的 ~/free5gc/config/smfcfg.yaml

```
sst: 1 # Slice/Service Type (uinteger, range: 0~255)
sd: 112233 # Slice Differentiator (3 bytes hex string, range: 000000~FFFFF)
dnnInfos: # DNN information list
- dnn: internet # Data Network Name
+ dnn: internet2 # Data Network Name
dns: # the IP address of DNS
    ipv4: 8.8.8.8
plmnList: # the list of PLMN IDs that this SMF belongs to (optional, remove this
@@ -36,14 +36,14 @@ configuration:
    mnc: "93" # Mobile Network Code (2 or 3 digits string, digit: 0~9)
locality: areal # Name of the location where a set of AMF, SMF and UPFs are located
pfcp: # the IP address of N4 interface on this SMF (PFCP)
-   addr: 127.0.0.1
+   addr: 192.168.56.101
userplaneInformation: # list of userplane information
upNodes: # information of userplane node (AN or UPF)
    gNB1: # the name of the node
        type: AN # the type of the node (AN or UPF)
-   UPF: # the name of the node
+   UPF0: # the name of the node
        type: UPF # the type of the node (AN or UPF)
-   nodeID: 127.0.0.8 # the IP/FQDN of N4 interface on this UPF (PFCP)
+   nodeID: 192.168.56.103 # the IP/FQDN of N4 interface on this UPF (PFCP)
sNssaiUpfInfos: # S-NSSAI information list for this UPF
- sNssai: # S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information)
sst: 1 # Slice/Service Type (uinteger, range: 0~255)
```

# 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 free5gc VM 的 ~/free5gc/config/smfcfg.yaml

```
- dnn: internet
  pools:
    - cidr: 10.60.0.0/16
+ interfaces: # Interface list for this UPF
+   - interfaceType: N3 # the type of the interface (N3 or N9)
+     endpoints: # the IP address of this N3/N9 interface on this UPF
+       - 192.168.56.103
+       networkInstance: internet # Data Network Name (DNN)
+       UPF1: # the name of the node
+         type: UPF # the type of the node (AN or UPF)
+         nodeID: 192.168.56.104 # the IP/FQDN of N4 interface on this UPF (PFCP)
+         sNssaiUpfInfos: # S-NSSAI information list for this UPF
+           - sNssai: # S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information)
+             sst: 1 # Slice/Service Type (uinteger, range: 0-255)
+             sd: 112233 # Slice Differentiator (3 bytes hex string, range: 000000-FFFFFF)
+             dnnUpfInfoList: # DNN information list for this S-NSSAI
-   - dnn: internet
+   - dnn: internet2
     pools:
       - cidr: 10.61.0.0/16
+ interfaces: # Interface list for this UPF
+   - interfaceType: N3 # the type of the interface (N3 or N9)
+     endpoints: # the IP address of this N3/N9 interface on this UPF
-     - 192.168.56.101
+     networkInstance: internet # Data Network Name (DNN)
+       - 192.168.56.104
+     networkInstance: internet2 # Data Network Name (DNN)
     links: # the topology graph of userplane, A and B represent the two nodes of each link
-     - A: gNB1
-     - B: UPF
+     - B: UPF0
+     - A: gNB1
+     - B: UPF1
  nrfUri: http://127.0.0.10:8000 # a valid URI of NRF
# the kind of log output
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 free5gc VM 的 ~/free5gc/config/nrfcfg.yaml

```
configuration:  
  MongoDBName: free5gc # database name in MongoDB  
-  MongoDBUrl: mongodb://127.0.0.1:27017 # a valid URL of the mongodb  
+  MongoDBUrl: mongodb://192.168.56.101:27017 # a valid URL of the mongodb  
    sbi: # Service-based interface information  
      scheme: http # the protocol for sbi (http or https)  
      registerIPv4: 127.0.0.10 # IP used to serve NFs or register to another NRF
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 free5gc VM 的 ~/free5gc/config/pcfconfig.yaml

```
- serviceName: npcf-ue-policy-control # Npcf_UEPolicyControl service
mongodb:          # the mongodb connected by this PCF
  name: free5gc           # name of the mongodb
- url: mongodb://localhost:27017 # a valid URL of the mongodb
+ url: mongodb://192.168.56.101:27017 # a valid URL of the mongodb
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 free5gc VM 的 /etc/mongodb.conf

```
logappend=true  
  
-bind_ip = 127.0.0.1  
+bind_ip = 127.0.0.1, 192.168.56.101  
#port = 27017  
  
# Enable journaling, http://www.mongodb.org/display/DOCS/Journaling
```

- 重新啟動 free5gc VM 的 mongodb service  
[sudo systemctl restart mongodb.service](#)

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 free5gc VM 的 ~/free5gc/run.sh

```
PID_LIST+=($SUDO_TCPDUMP_PID $TCPDUMP_PID)
fi

-sudo -E ./NFS/upf/build/bin/free5gc-upfd -c ./config/upfcfg.yaml -l ${LOG_PATH}up
-SUDO_UPF_PID=$!
-sleep 0.1
-UPF_PID=$(pgrep -P $SUDO_UPF_PID)
-PID_LIST+=($SUDO_UPF_PID $UPF_PID)
+# sudo -E ./NFS/upf/build/bin/free5gc-upfd -c ./config/upfcfg.yaml -l ${LOG_PATH}
+# SUDO_UPF_PID=$!
+# sleep 0.1
+# UPF_PID=$(pgrep -P $SUDO_UPF_PID)
+# PID_LIST+=($SUDO_UPF_PID $UPF_PID)

sleep 1
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 upf1 VM 的 ~/free5gc/config/upfcfg.yaml

```
# The IP list of the N4 interface on this UPF (Can't set to 0.0.0.0)
pfcp:
- - addr: 127.0.0.8
+ - addr: 192.168.56.103

# The IP list of the N3/N9 interfaces on this UPF
# If there are multiple connection, set addr to 0.0.0.0 or list all the addresses
gtpu:
- - addr: 127.0.0.8
+ - addr: 192.168.56.103
  # [optional] gtpu.name
  # - name: upf.5gc.nctu.me
  # [optional] gtpu.ifname
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 upf2 VM 的 ~/free5gc/config/upfcfg.yaml

```
# The IP list of the N4 interface on this UPF (Can't set to 0.0.0.0)
pfcp:
-   - addr: 127.0.0.8
+   - addr: 192.168.56.104

# The IP list of the N3/N9 interfaces on this UPF
# If there are multiple connection, set addr to 0.0.0.0 or list all the addresses
gtpu:
-   - addr: 127.0.0.8
+   - addr: 192.168.56.104
    # [optional] gtpu.name
    # - name: upf.5gc.nctu.me
    # [optional] gtpu.ifname
@@ -28,7 +28,7 @@ configuration:

# The DNN list supported by UPF
dnn_list:
-   - dnn: internet # Data Network Name
-     cidr: 10.60.0.0/24 # Classless Inter-Domain Routing for assigned IPv4 pool of UE
+   - dnn: internet2 # Data Network Name
+     cidr: 10.61.0.0/24 # Classless Inter-Domain Routing for assigned IPv4 pool of UE
      # [optional] dnn_list[*].natifname
      # natifname: eth0
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 upf1 VM 與 upf2 VM 的 ~/free5gc/run.sh

```
sleep 1

-NF_LIST="nrf amf smf udr pcf udm nssf ausf"
+#NF_LIST="nrf amf smf udr pcf udm nssf ausf"
+NF_LIST=""

export GIN_MODE=release
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 複製 ueransim VM 為新的 gnb VM 以及 ue VM
- 固定 gnb VM 以及 ue VM 的 IP 為 192.168.56.105 以及 192.168.56.106
- 修改 gnb VM 的 ~/UERANSIM/config/free5gc-gnb.yaml

```
idLength: 32          # NR gNB ID length in bits [22...32]
tac: 1                # Tracking Area Code

-linkIp: 127.0.0.1   # gNB's local IP address for Radio Link Simulation (Usually same with local IP)
-ngapIp: 127.0.0.1   # gNB's local IP address for N2 Interface (Usually same with local IP)
-gtpIp: 127.0.0.1    # gNB's local IP address for N3 Interface (Usually same with local IP)
+linkIp: 192.168.56.105  # gNB's local IP address for Radio Link Simulation (Usually same with local IP)
+ngapIp: 192.168.56.105  # gNB's local IP address for N2 Interface (Usually same with local IP)
+gtpIp: 192.168.56.105  # gNB's local IP address for N3 Interface (Usually same with local IP)

# List of AMF address information
amfConfigs:
-  - address: 127.0.0.1
+  - address: 192.168.56.101
    port: 38412

# List of supported S-NSSAIs by this gNB
slices:
-  - sst: 0x1
    sd: 0x010203
+  - sst: 0x1
+    sd: 0x112233

# Indicates whether or not SCTP stream number errors should be ignored.
ignoreStreamIds: true
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 修改 ue VM 的 ~/UERANSIM/config/free5gc-ue.yaml

```
# List of gNB IP addresses for Radio Link Simulation
gnbSearchList:
- - 127.0.0.1
+ - 192.168.56.105

# UAC Access Identities Configuration
uacAic:
@@ -43,11 +43,19 @@ sessions:
    slice:
        sst: 0x01
        sd: 0x010203
+   - type: 'IPv4'
+     apn: 'internet2'
+     slice:
+       sst: 0x01
+       sd: 0x112233
+
#
# Configured NSSAI for this UE by HPLMN
configured-nssai:
- sst: 0x01
  sd: 0x010203
+ - sst: 0x01
+   sd: 0x112233
#
# Default Configured NSSAI for this UE
default-nssai:
```

## 實驗四：更改網路拓樸

- 在 upf1 VM 及 upf2 VM 執行下列指令  
`sudo ~/free5gc/run.sh`
- 在 free5gc VM 執行下列指令 (執行順序需晚於 upf1 VM 與 upf2 VM的指令)  
`sudo ~/free5gc/run.sh`
- 在 gnb VM 執行下列指令  
`sudo ~/UERANSIM/build/nr-gnb -c ~/UERANSIM/config/free5gc-gnb.yaml`
- 在 ue VM 執行下列指令  
`sudo ~/UERANSIM/build/nr-ue -c ~/UERANSIM/config/free5gc-ue.yaml`

## 實驗四：更改網路拓樸

- 上述指令執行完可以在 ue VM 看到兩個 5G 通道  
`uesimtun0` 以及 `uesimtun1`
- 在 upf1 VM 執行下列指令  
`sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -s 10.60.0.0/16 ! -o upfgtp -j MASQUERADE`
- 在 upf2 VM 執行下列指令  
`sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -s 10.61.0.0/16 ! -o upfgtp -j MASQUERADE`
- 在 ue VM 分別對這兩個 5G 通道使用下列指令  
`ping -I uesimtun0 8.8.8.8`  
`ping -I uesimtun1 8.8.8.8`

## 實驗四：更改網路拓樸

- 完成上述實驗步驟成功截圖 以及 回答下列問題
  1. 請問 ping 指令結果是否成功
  2. 說明產生出來的 5G 核心網路與 Lab 3產生的核心網路有什麼差別。

## 實驗五：5G 場景模擬

下載檔案：[https://drive.google.com/file/d/1Lj7K1ETq5qrzxtrDumKNJxTdWMI95HT/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1Lj7K1ETq5qrzxtrDumKNJxTdWMI95HT/view?usp=share_link)

## 實驗五：5G 場景模擬

- 建立一個 Server VM 並固定其 IP 為 192.168.56.110
- 讓 Server 安裝 iperf 並執行

sudo apt install iperf

iperf -s

- 再重開 free5gc VM 並執行下列的 script 及指令

# in ~/

sudo ./free5gc-vnet.sh

# in free5gc/

git reset --hard HEAD

git apply free5gc.patch

# in free5gc/

sudo ./run.sh

## 實驗五：5G 場景模擬

- 重開 ueransim VM 並執行下列的 script 及指令
- 確定在 WebConsole 那註冊的資料，與 ueransim VM 的 patch 後的 free5gc-gnb.yaml、free5gc-ue.yaml 設定吻合

# install iperf for traffic test

sudo apt install iperf

# in ~/

sudo ./ueransim-vnet.sh

# in UERANSIM/

git reset HEAD --hard git apply ueransim.patch

sudo ip netns exec gnb build/nr-gnb -c config/free5gc-gnb.yaml

sudo ip netns exec ue ue-run.sh

# in another window

sudo ip netns exec ue bash

seq 0 15 | xargs -P 0 -I{} ip vrf exec vrf{} iperf -c 192.168.56.110

seq 0 15 | xargs -P 0 -I{} ip vrf exec vrf{} ping -c 10 8.8.8.8

## 實驗五：5G 場景模擬

完成上述實驗步驟成功截圖 以及 回答下列問題

1. 請問此模擬是屬於三大應用場景 (eMBB, mMTC, URLLC) 的 那一類
2. 若此模擬都不是屬於任何一類的話，該如何改善使其模擬符合其中一類
3. 如果提高 UE 的模擬個數，會有什麼樣的問題

## 附錄

過去學長錄的影片：

裝VM <https://www.youtube.com/embed/NszNxmuFwA0?enablejsapi=1>

實驗1 <https://www.youtube.com/embed/srFk95Z0oKg?enablejsapi=1>

實驗2 <https://www.youtube.com/embed/DRZMllo8y7I0?enablejsapi=1>

實驗3 <https://www.youtube.com/embed/58olxqydFCk?enablejsapi=1>

實驗4 <https://www.youtube.com/embed/F14vf7r841c?enablejsapi=1>

實驗5 <https://www.youtube.com/embed/VHlIBRqDMBA?enablejsapi=1>

## 附錄：virtualbox的小技巧

- virtualbox視窗放大後滑鼠不見，點右ctrl找回滑鼠
- virtualbox內不方便滾動視窗以及複製貼上，可以使用ssh連入
- 可以安裝tmux方便操作多台VM

## 附錄：ubuntu的小技巧

- 按tab可以自動補齊指令
- 編輯軟體可以使用nano, vim...，請善用他們的搜索功能，才不會改到眼花撩亂
- 想到再補或者有需要可以聯絡我

## 附錄：實驗可能會遇到的困難或建議事項

- 如果ppt上有指定版本，建議跟ppt一樣，不然會有助教也不一定能解決的狀況
- 實驗3遇到 gtp5g device named upfgtp created fail 時，重新裝gtp5g
- 有時候ping網址連不上的話，記得將routing功能打開的步驟再輸入一次，因為VM重開要重新打開routing功能
- 操作時要注意ppt說的VM是哪台，搞錯的話就會有問題
- 安裝ubuntu系統時遇到kernel panic相關問題可以將CPU數量調整為2（ 設定>系統>處理器 ）
- 想到再補

## 附錄：投影片勘誤

- 如果有勘誤或追加內容，就會在投影片最後這區，投影片連結如下
- [https://docs.google.com/presentation/d/1e\\_I4U4kLVyqk5ebVBQ96FrWQgGD\\_Dv-QRa4z-rLpbyBA/edit?usp=share\\_link](https://docs.google.com/presentation/d/1e_I4U4kLVyqk5ebVBQ96FrWQgGD_Dv-QRa4z-rLpbyBA/edit?usp=share_link)
- 之前的實驗PDF檔如下，有些內容可以參照著看，但有些網址是舊的
- [https://drive.google.com/file/d/1mqSTdmaal92tonJzEAiLOU9fGx9oZYno/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1mqSTdmaal92tonJzEAiLOU9fGx9oZYno/view?usp=share_link)

勘誤1：22頁 cd忘記換行

勘誤2：實驗5的script檔案連結，附在第60頁，之後wm5會再請老師更新