



## 場域一：校慶遠端合唱系統

### 使用之5G技術與元素

- 核心網路使用本團隊所開發全世界第一套符合3GPP標準的5G開源核心網路free5GC。
- 評估使用MEC網路架構以確保5G網路的服務質量。
- 利用5G超高速傳輸及超低延遲的特性，使合唱同步校正及整合輸出功能完整運作。

# Outline

- 場域介紹
  - 情境架構
  - 設備規格
- 系統說明
  - 歌唱時間同步線路圖
  - 同步歌唱 5G 傳輸線路圖
  - 系統實際情境
- 實作手冊
  - 連接5G網路
  - Jamulus安裝實作
  - Jamulus server
  - Web server

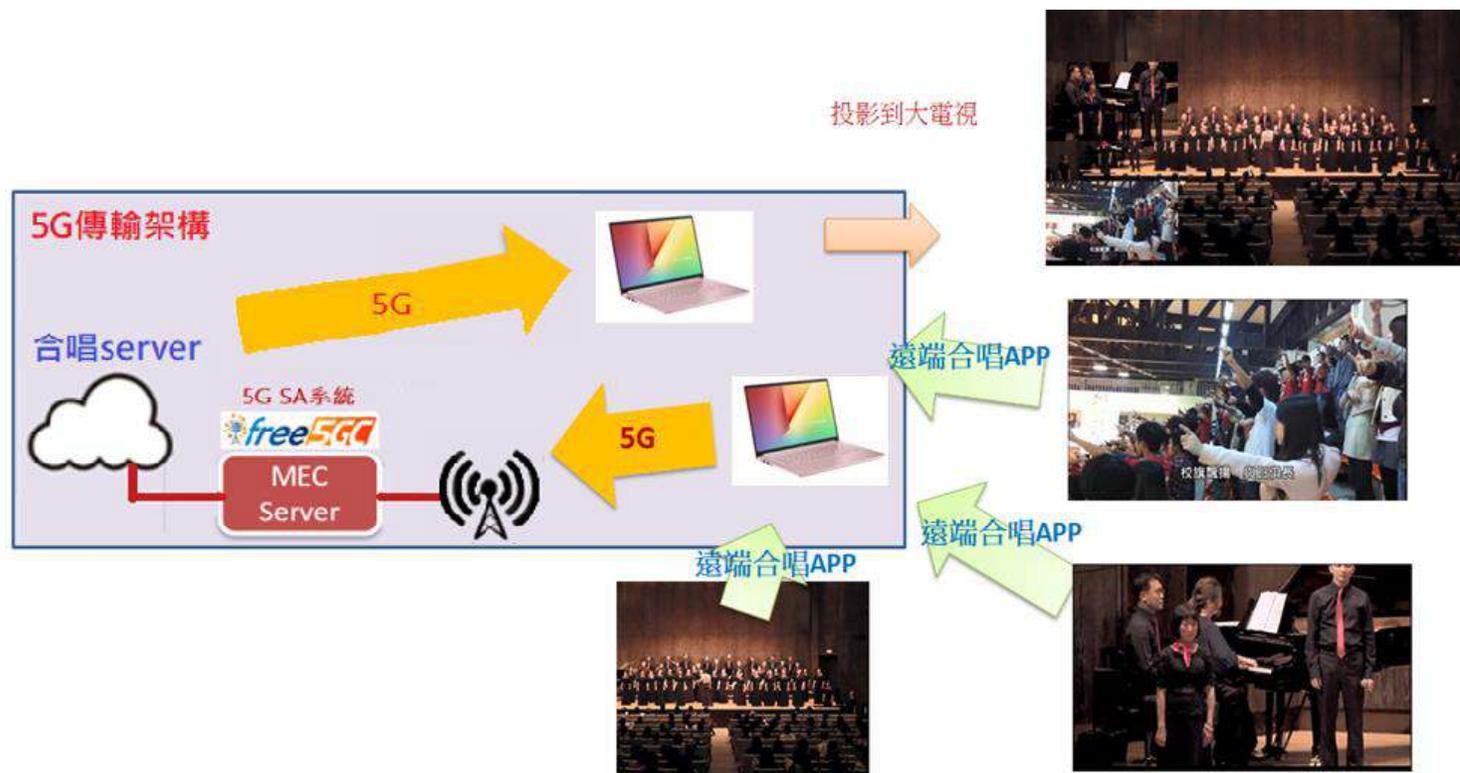
# 校慶遠端合唱系統

- 使用Open Source : Jamulus
- 自建伺服器並研發合唱詞曲系統
  - 將Jamulus輸出之聲音資訊整合至合唱詞曲系統
  - 將不同場所的合唱聲音透過5G傳給自建server
  - 透過5G在server與合唱詞曲系統間低延遲通訊
- 4G vs 5G 的量測與延遲分析比較
  - 歌唱聲音傳回到server的延遲時間 (ping與delay)
  - 複數client端至server的時間同步情況 (Time synchronize)
  - server整合client端的聲音及畫面所花輸出時間

# 情境架構與展示

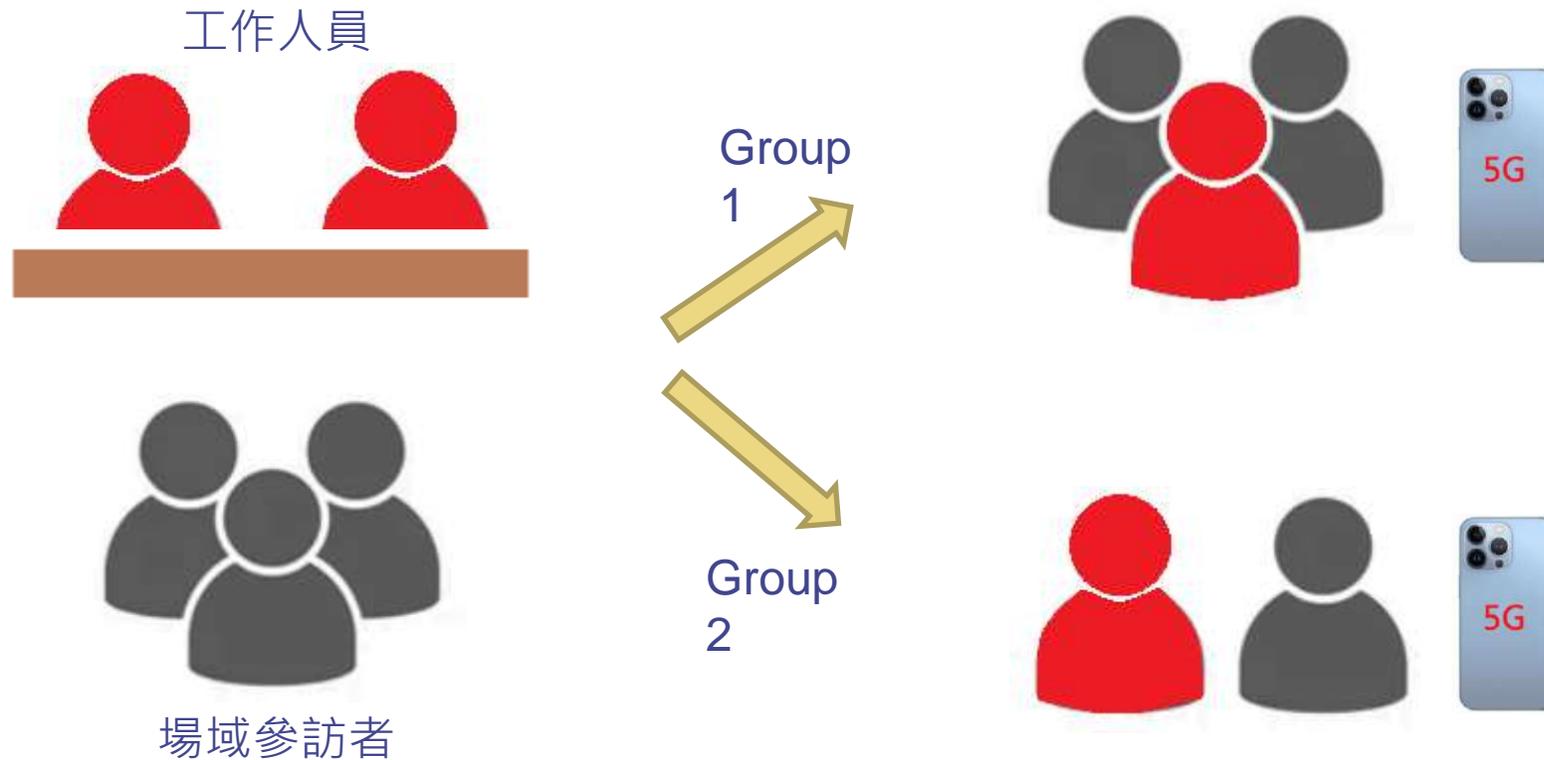
# 情境架構

- 遠端合唱server端對多隻手機APP發出歌曲伴奏
- 手機使用者依據伴奏節拍對APP進行不同聲部的吟唱
- APP將吟唱內容傳回server將不同聲部的吟唱進行合成
- 利用5G超高速傳輸及超低延遲將合成後的合唱即時於另一裝置上播放



# 情境展示(1/5)

1. 將欲體驗場域應用之參訪者與工作人員搭配後分為2組，每組各持一台有連線功能之終端裝置。



# 情境展示(2/5)

2. 為了使參訪者能夠體驗實際合唱的運作，請參訪者在歌曲清單中選一首喜歡的歌曲。
3. 使用5G SA規格的行動通訊裝置連上合唱server



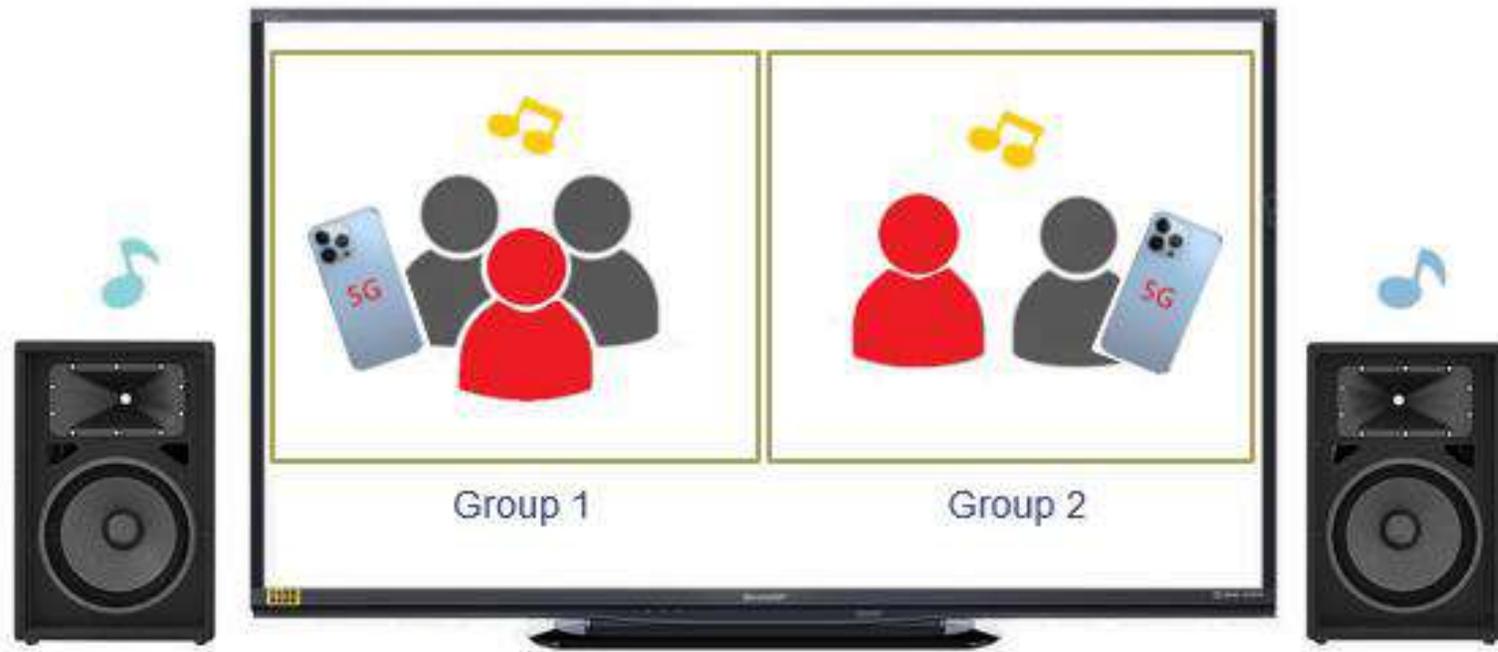
# 情境展示(3/5)

4. 遠端合唱伺服器向行動通訊裝置播送參訪者所選之歌曲以及顯示歌詞，並請2組參訪者與歌曲旋律配合進行唱歌的動作。
5. 透過時間校正技術，歌曲會零時差於所有行動通訊裝置播放。



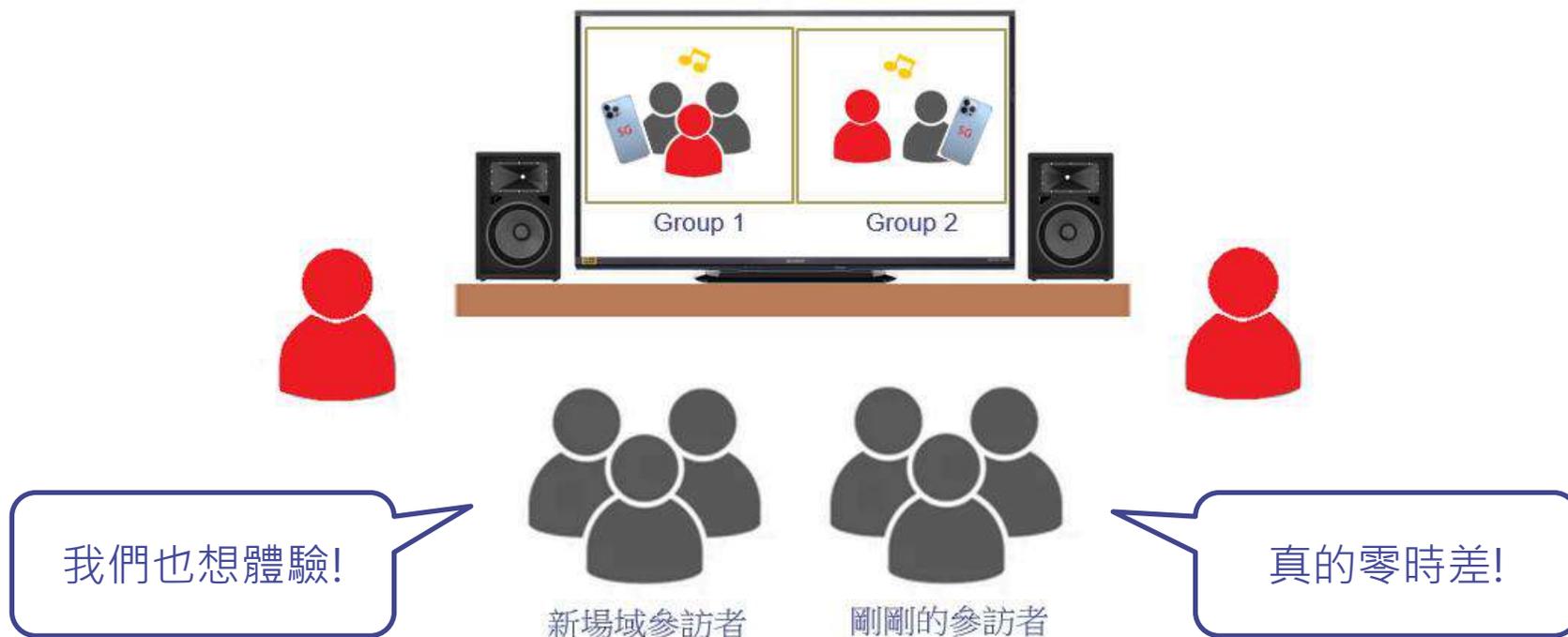
# 情境展示(4/5)

6. 現場展示區域置有一台4K高畫質螢幕以及一台優質音響，螢幕將投放2組參訪者在不同位置的合唱畫面，音響則回傳參訪者合唱的高精確及大音場的聲音表現。



# 情境展示(5/5)

7. 合唱結束後，在主要展示區域將合唱伺服器上的合唱聲音及畫面整合輸出給參訪者觀看。
8. 展示透過5G回傳使合唱過程順暢無延遲，也使參訪者體驗到唱歌互動零時差的過程。



# 設備規格

# 設備規格(1/2)

設備	說明	規格	數量	照片
5G SA 基地台	5GC核心單元	明泰科技 5G SA 基地台 OS: Ubuntu	1	
筆記型電腦	連接5G無線網卡	OS: Ubuntu CPU: RAM:	1	
桌上型電腦	有安裝free5gc	OS: Ubuntu CPU: RAM:	1	
RU	遠端小型基地台		1	

# 設備規格(2/2)

設備	說明	規格	數量	照片
5G Dongle	行動網卡	Tributo 5G USB-C Dongle	3	
SIM	供5G Dangle使用	Micro SIM 15x12mm	3	
Mic	供使用者唱歌	ALCTRON PM58S	2	

# 系統線路圖

# 同步合唱 5G 傳輸線路圖

## 伺服器端

- 在網際網路上部署**網頁伺服器(Web Server)**，接收使用者端的請求並傳送資料(顯示歌詞畫面)。
- 在網際網路上部署**合唱伺服器(Jamulus Server)**，接收使用者端的歌唱音訊，合成後回傳給使用者。

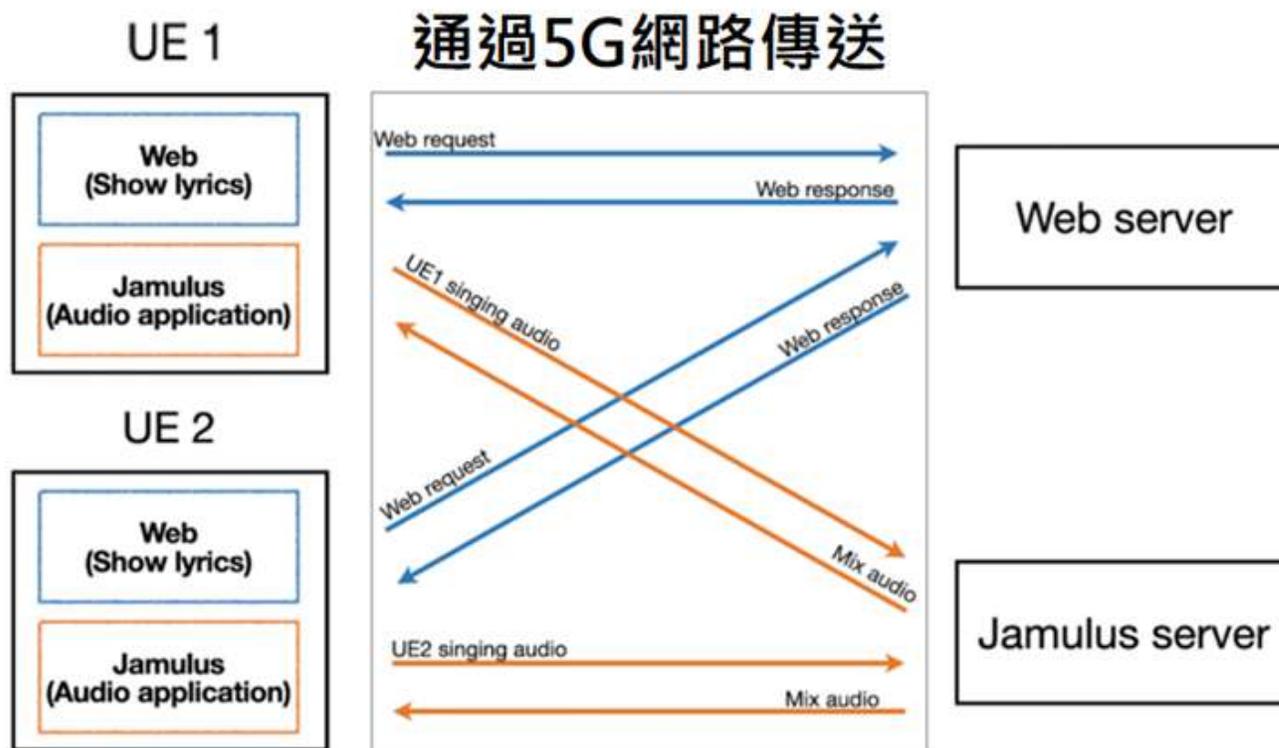
## 使用者端

- 設備透過 **5G dongle** 連接到搭載 **free5GC** 核心網路的 **5G SA 系統**。
- 透過 **5G SA系統** 連接到網際網路上的 **Web Server** 與 **Jamulus Server**。



# 歌唱時間同步線路圖

- 每個終端使用者會開啟瀏覽器與合唱系統Web Server建立連線此外開啟Jamulus應用程式準備用來傳輸音訊。
- 合唱系統Web Server 會轉送同步要求至連接的UE，以伺服器時間作為標準，同步發送歌曲與歌詞開始的訊號。
- Jamulus與UE之間透過5G網路有著低延遲的通訊，讓使用者體驗歌唱零時差的互動。



# 系統情境說明

# 系統實際情境 使用者情境-基本資料輸入

- 使用Google Chrome瀏覽器瀏覽連限至網頁伺服器。
- 使用者須先輸入相關基本資料，以便後續使用者體驗。



# 系統實際情境 選擇合唱曲目

- 使用者可以依照喜好  
進入想進行合唱的曲目包廂



# 系統實際情境 合唱前準備

- 進入包廂後可於畫面上方看到合唱曲目。
- 確認好Jamulus 應用程式開啟並設定好後即可按下「準備好了」。
- 按下後，畫面會進入等待其他使用者。

The screenshot displays the Jamulus web interface. On the left, a user profile for 'David' is shown with a video feed and text: '我的名字:David' and '我的位置:418'. The main area features the song title '卡加布列島' (Kagaburima) and a 'ping: 3 ms' indicator. A central message box says: '歡迎進入1號包廂', '即將進行合唱的歌曲是卡加布列島。', and '準備好就可以按下方按鍵，祝您歡唱愉快！'. A red '準備好了' (Ready) button is at the bottom. The right side shows a control panel with 'Reverb', 'Input', 'Personal Mix at: 10.10.0.56', and various sliders and buttons like 'Mute Myself', 'Settings', 'Chat', and 'Disconnect'. A footer note reads 'COPYRIGHT © 2021 NYCU WIRELAB, ALL RIGHTS RESERVED.' and 'Jamulus software upgrade available'.

網頁操作介面

Jamulus 應用程式介面

# 系統實際情境 開始準備

- 開始合唱後，畫面會出現動態歌詞，並且網頁伺服器會播放歌曲音樂。
- 使用者的歌聲會透過合唱伺服器(Jamulus Server)傳送合成後的歌唱聲音。

The screenshot shows a web browser displaying the Jamulus interface. On the left, a user profile for 'David' is shown with a video feed of a person wearing a blue face mask. Below the video, it says '我的名字:David' and '我的位置:418'. In the center, the song title '卡加布列島' is displayed in large red characters. Below the title, the lyrics are shown in a yellow box: '有隻身穿七彩衣的鳥', '對著我微笑', '我來到一個島 它叫卡加布列島', '小黑猩猩很有禮貌 歡迎我來到', '來到小湖旁 綠色青蛙抬頭望'. A red '開始' button is at the bottom of the lyrics box. On the right, another user profile for 'Meow' is shown with a video feed of a person wearing a white face mask. Below the video, it says '名字: Meow' and '位置: NYCU'. At the bottom of the browser window, there is a copyright notice: 'COPYRIGHT © 2021 NYCU WIRELAB, ALL RIGHTS RESERVED.' To the right of the browser window, the Jamulus application control panel is visible. It includes a 'Reverb' slider, 'Input' selection (Left/Right), 'Ping' (36 ms), 'Delay' (76 ms), and 'Jitter' (green checkmark). There are also buttons for 'Mute Myself', 'Settings', 'Chat', and 'Disconnect'. On the right side of the control panel, there are sliders for 'Personal Mix at: 10.10.0.56' and buttons for 'GRP MUTE SOLO' and 'GRP MUTE SOLO'. At the bottom of the control panel, there are buttons for 'Music' and 'cool'.

網頁操作介面

Jamulus 應用程式介面

# 實作連接5G網路

# 連接 5G 網路(1/14)

(操作在 安裝free5gc的桌上型電腦上)

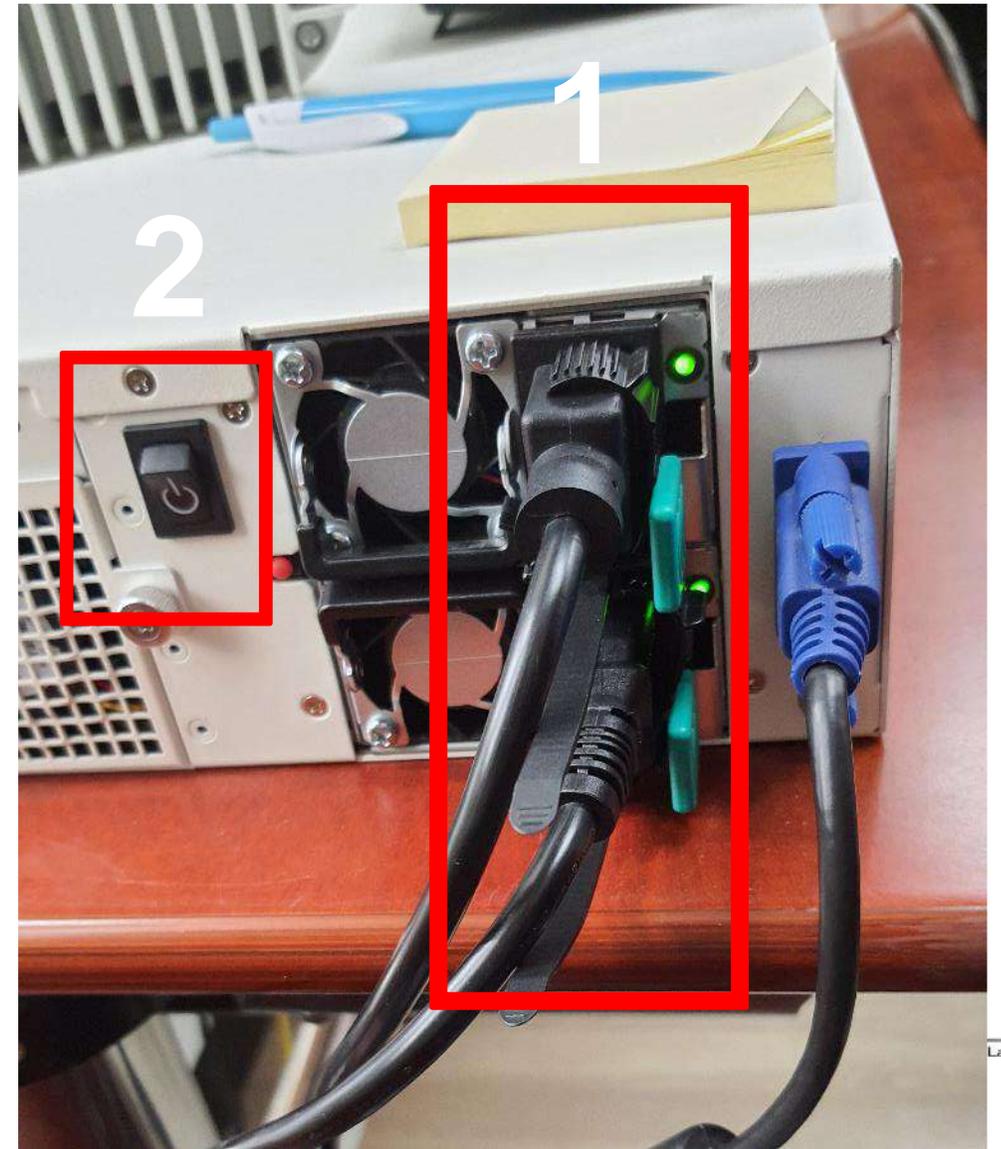
1. 從 <https://www.free5gc.org/> 下載安裝  
free5gc
2. 在電腦安裝好free5gc，並切換至  
free5gc資料夾內
3. 先輸入 `./force_kill.sh`
4. 再輸入 `./run.sh`，啟動free5gc

```
021-11-25T14:14:29+08:00 [INFO][NRF][Main] NRF exited
cslab@free5GC-HP:~/free5gc_v3.1.1/free5gc$ ./force_kill.sh
[sudo] password for cslab:
nrf: no process found
amf: no process found
smf: no process found
udr: no process found
pcf: no process found
udm: no process found
nssf: no process found
ausf: no process found
n3iwf: no process found
free5gc-upfd: no process found
go-upf: no process found
go-gtpu: no process found
tcpdump: no process found
Cannot find device "upfgtp"
Cannot find device "upfgtp0"
rm: cannot remove '/dev/mqueue/*': No such file or directory
cslab@free5GC-HP:~/free5gc_v3.1.1/free5gc$ ./run.sh
```

# 連接 5G 網路(2/14)

(操作在 5G SA基地台上)

1. 插入5G SA基地台的電源
2. 按下啟動鍵



# 連接 5G 網路(3/14)

(操作在 5G SA基地台上)

1. 切換至~/gnbfs/system/bin資料夾
2. 輸入sudo ./bringup\_cudu\_phy.sh init
3. 輸入sudo ./bringup\_cudu\_phy.sh start
4. 等待畫面出現如右圖所示最後一行

**waiting first slot...**

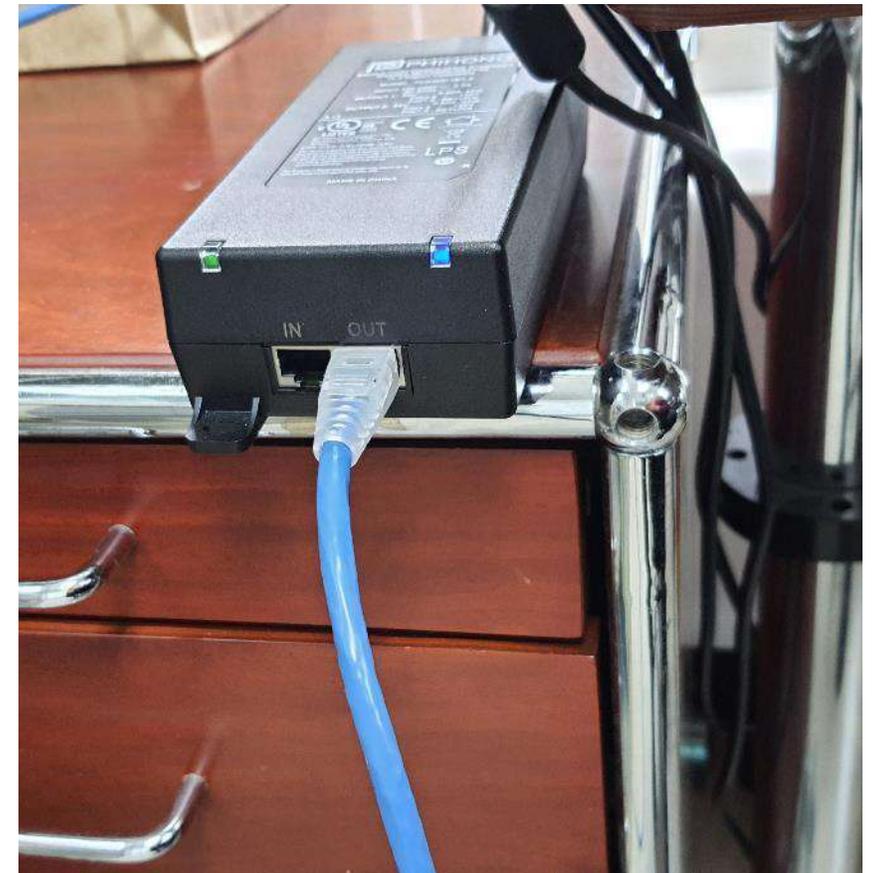
```
nrgnb@nrgnb:~/gnbfs/system/bin$ sudo ./bringup_cudu_phy.sh start
run system start
redis-server start successfully
netopeer2-server start successfully
sysrepo-plugind start successfully
run service start
CPU usage not suitable.
running L1 ...
running CU ...
running CU PDCP ...
running DU ...
connected to l1
waiting first slot ...
```

# 連接 5G 網路(4/14)

(操作在 5G SA基地台上)

1. 將POE網路線插入OUT孔
2. 並等待畫面呈現如下圖所示

```
Loading xdma driver...
The Kernel module installed correctly and the xmda devices were recognized.
DONE
insmod: ERROR: could not insert module igb_uio.ko: File exists
nrgnb@nrgnb:~/gnbfs/system/bin$ sudo ./bringup_cudu_phy.sh start
run service start
running L1 ...
running CU ...
running CU PDCP ...
running DU ...
connected to L1.
waiting first slot ...
first slot ind received.
nrgnb@nrgnb:~/gnbfs/system/bin$ sudo ./bringup_cudu_phy.sh stop
```

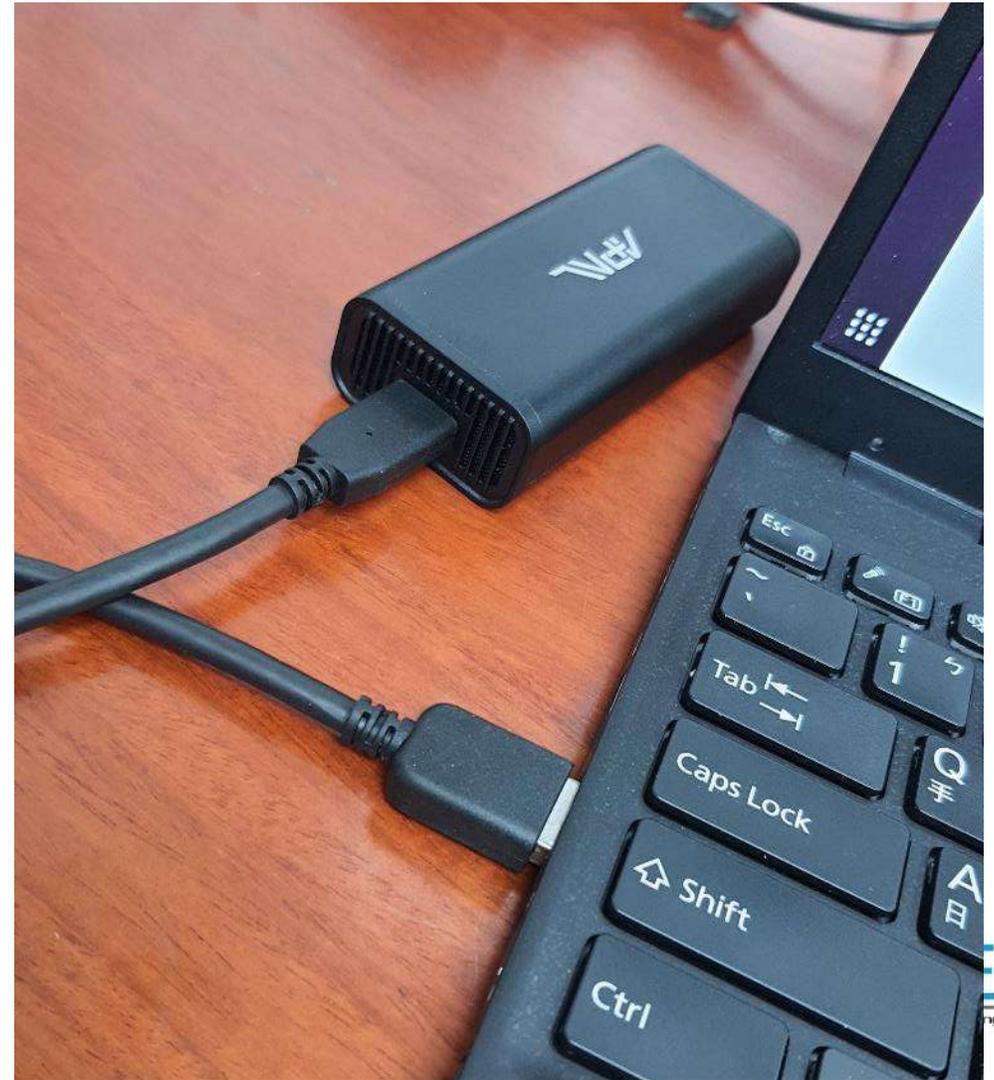


# 連接 5G 網路(5/14)

(操作在 連接5G USB無線網卡的筆記型電腦上)

1. 將5G SIM卡插入5G USB無線網卡
2. 並透過連接線將5G USB無線網卡

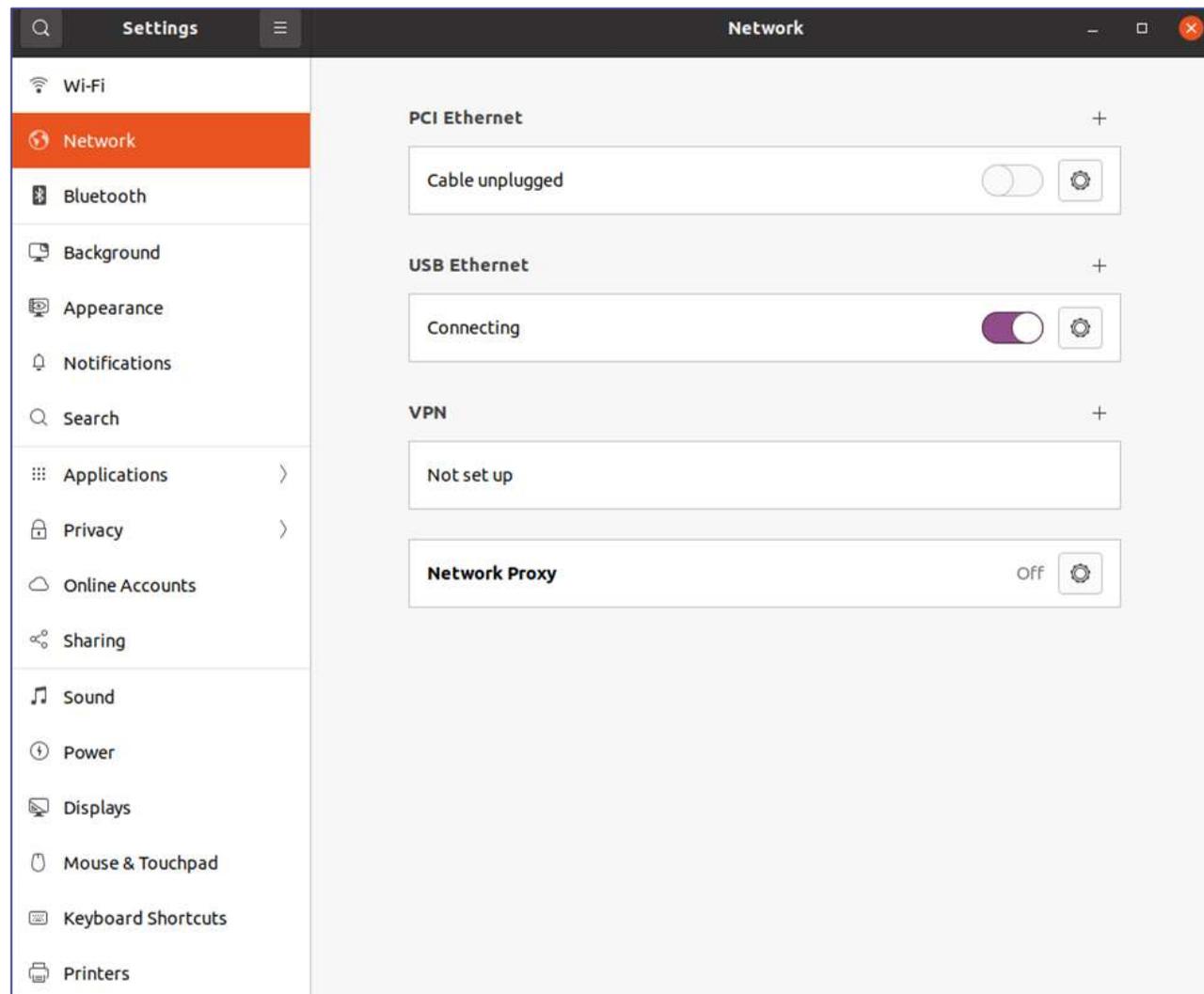
接上筆記型電腦



# 連接 5G 網路(6/14)

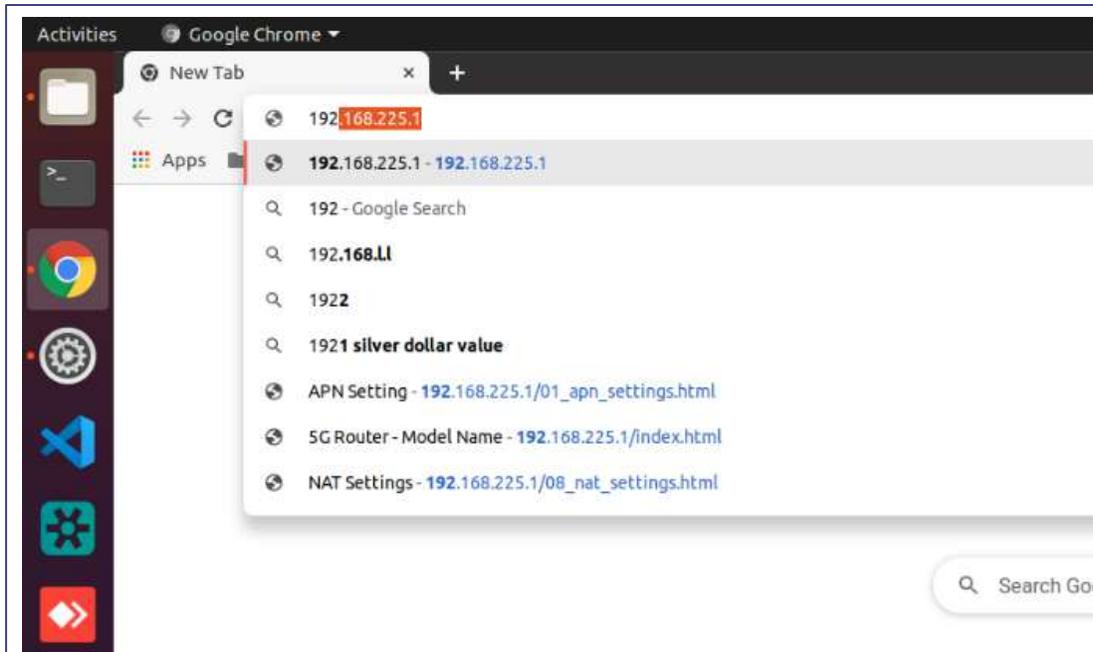
(操作在 連接5G USB無線網卡的筆記型電腦上)

1. 進入電腦Setting
2. 切換至Network介面
3. 等待Connecting成功
4. 點擊紅框內的圖標

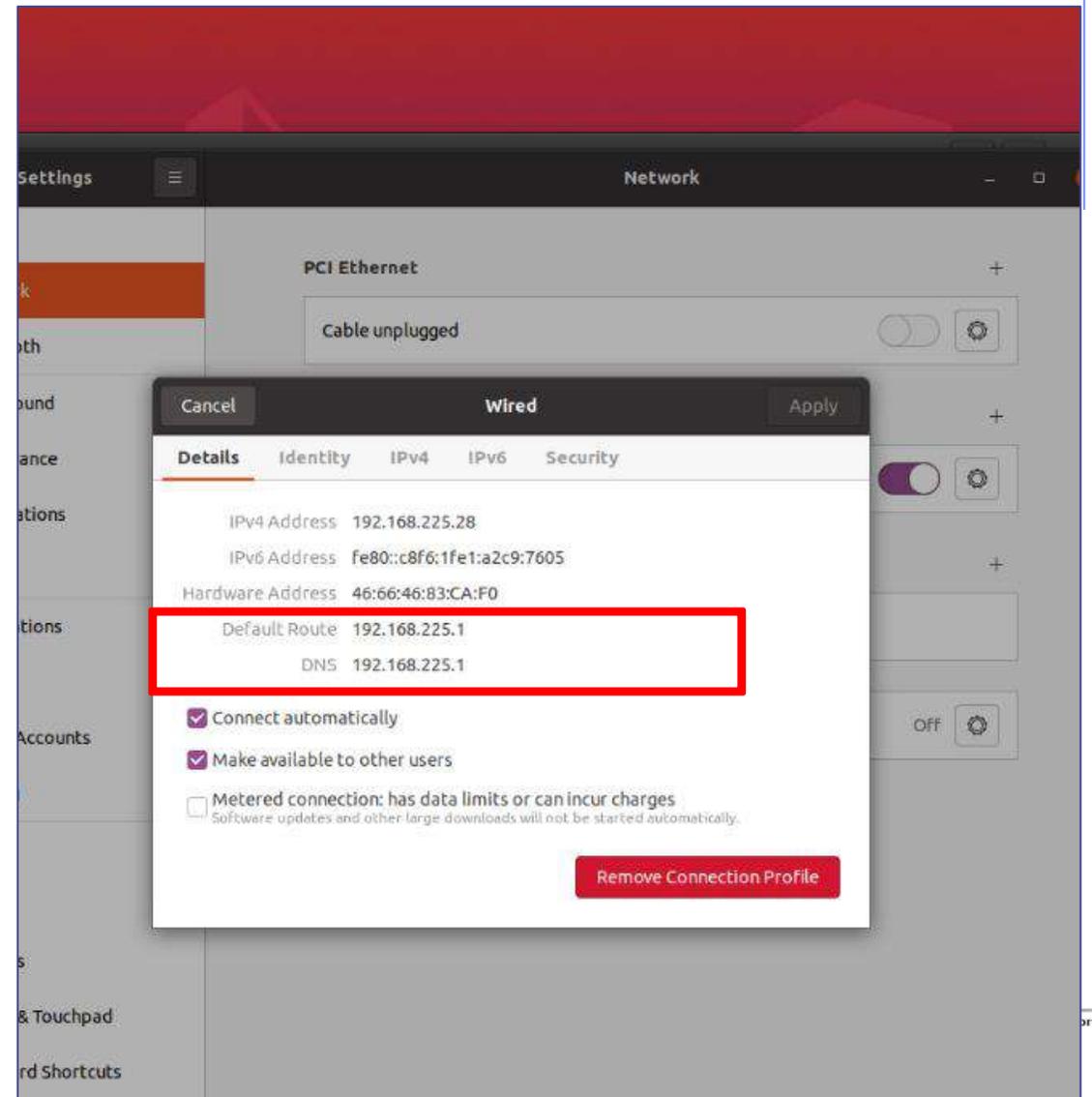


# 連接 5G 網路(7/14)

1. 確認畫面有出現紅框內的IP後
2. 開啟瀏覽器，並輸入192.168.255.1



(操作在 連接5G USB無線網卡的筆記型電腦上)



# 連接 5G 網路(8/14)

1. 進入網頁後
2. 輸入帳號及密碼

(操作在 連接5G USB無線網卡的筆記型電腦上)

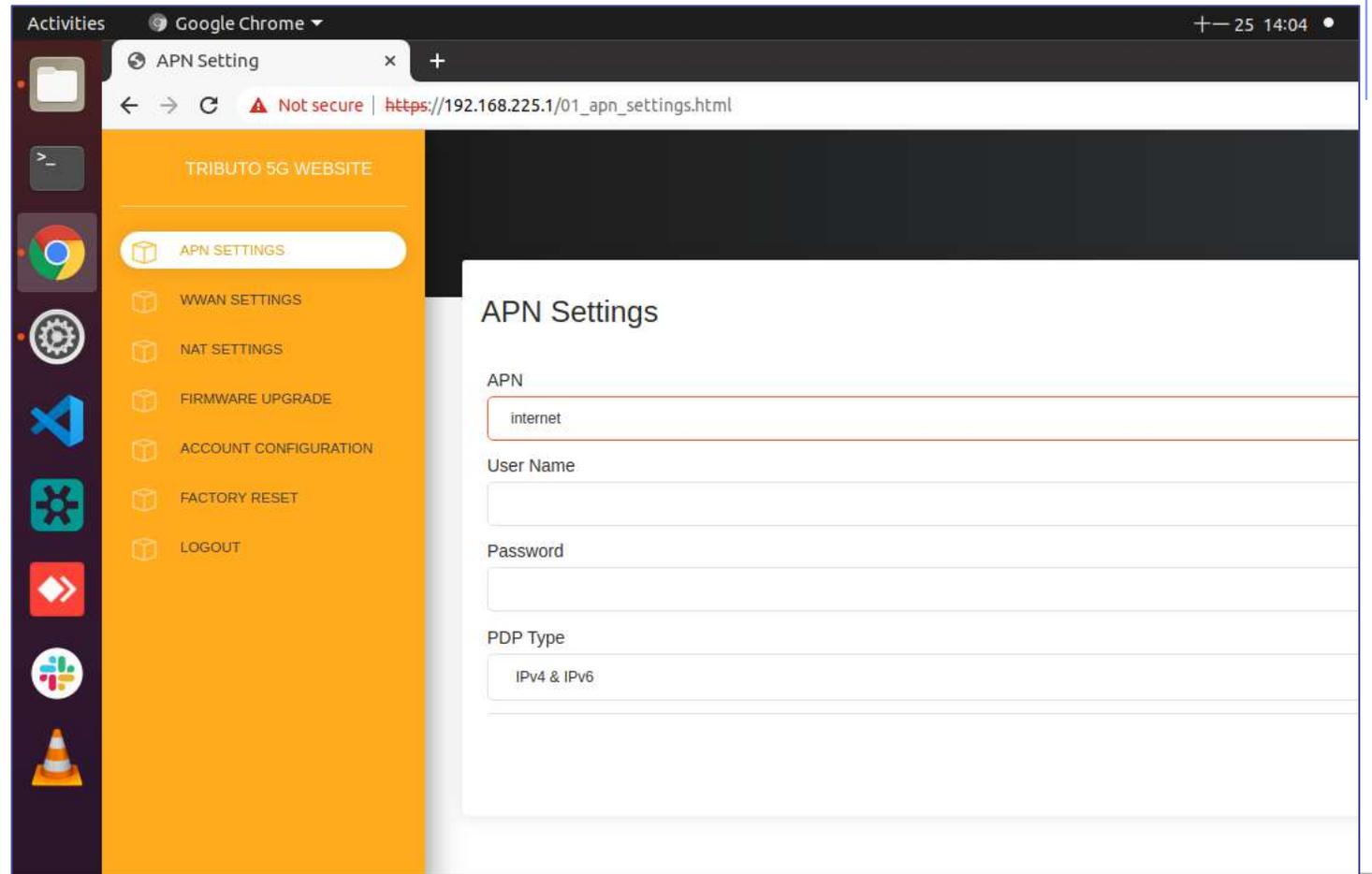


The screenshot shows the login interface for COMPAL. At the top left is the COMPAL logo, consisting of a green circular icon with a white 'C' and the word 'COMPAL' in bold black text. Below the logo is the word 'Login' in a standard black font. Underneath, there are two input fields: 'User name' with the text 'admin' entered, and 'Password' with four dots and a cursor, and a toggle icon for visibility. A yellow 'Login' button is positioned below the password field.

# 連接 5G 網路(9/14)

(操作在 連接5G USB無線網卡的筆記型電腦上)

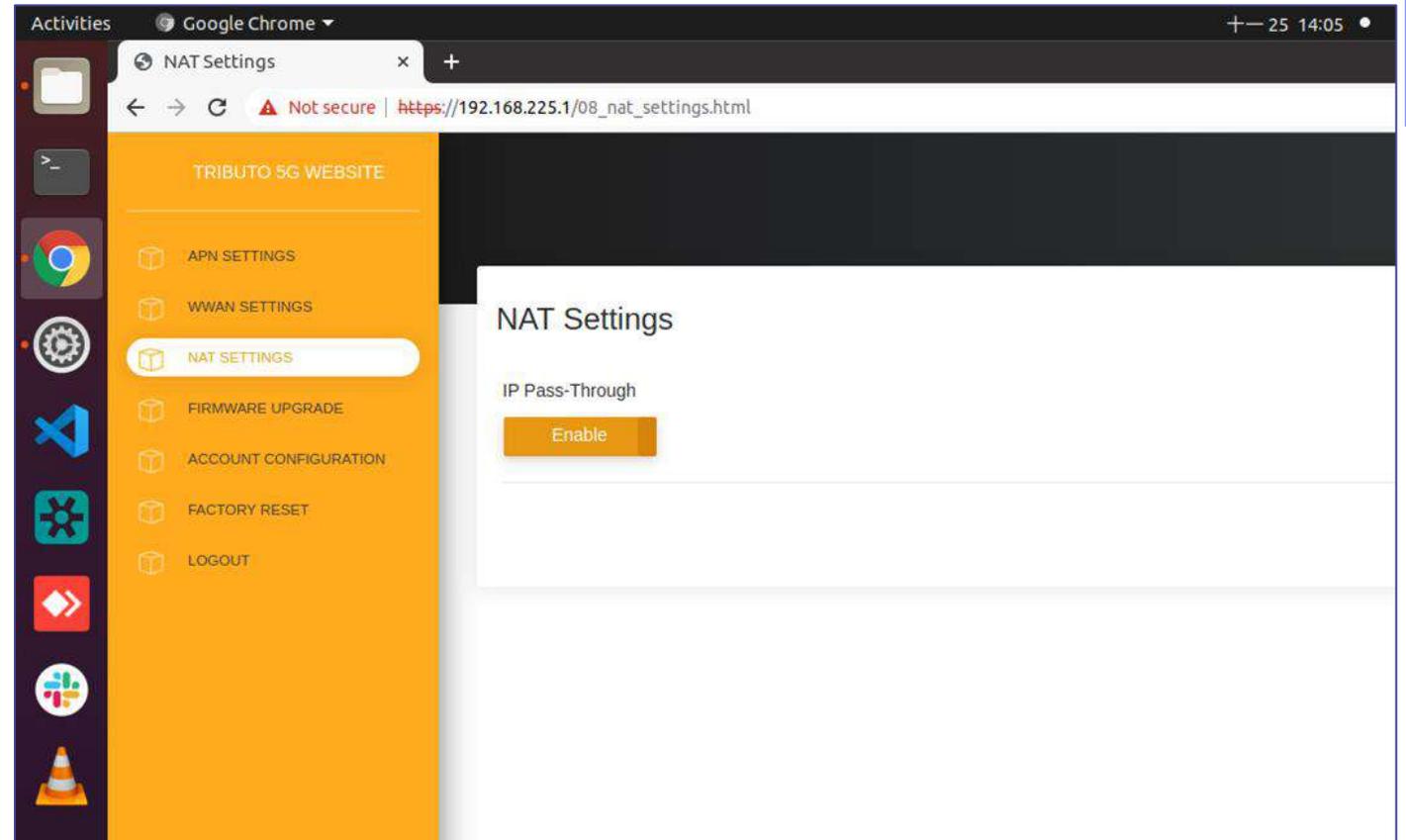
1. 至APN Settings頁面
2. 在APN欄位輸入internet
3. 點擊Update按鈕



# 連接 5G 網路(10/14)

(操作在 連接5G USB無線網卡的筆記型電腦上)

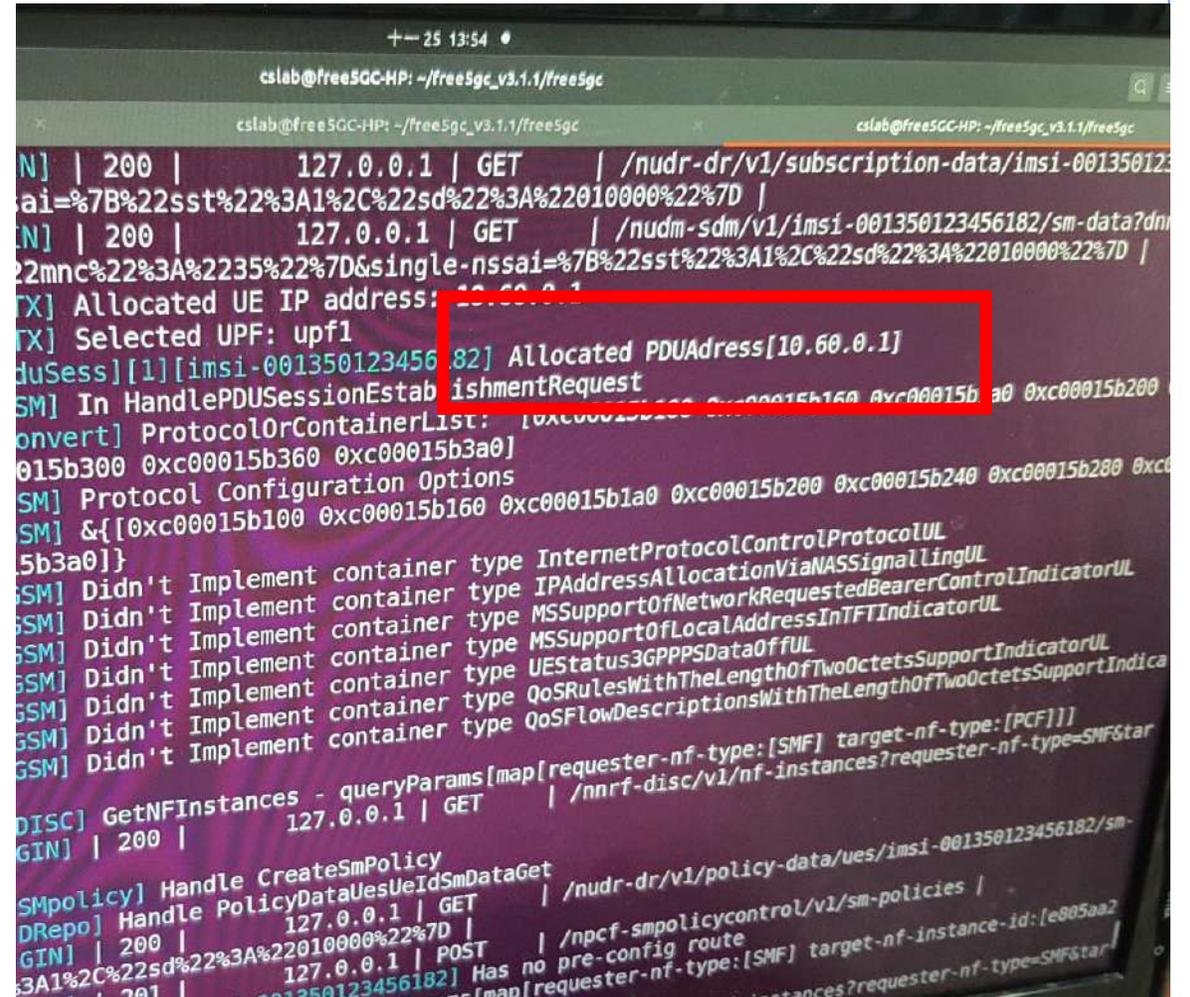
1. 至NAT Settings頁面
2. 開啟IP Pass-Through
3. 點擊Update按鈕



# 連接 5G 網路(11/14)

(操作在 安裝free5gc的桌上型電腦上)

1. 等待安裝free5gc的桌上型電腦  
分配PDUAddress
2. 記下分配的PDUAddress

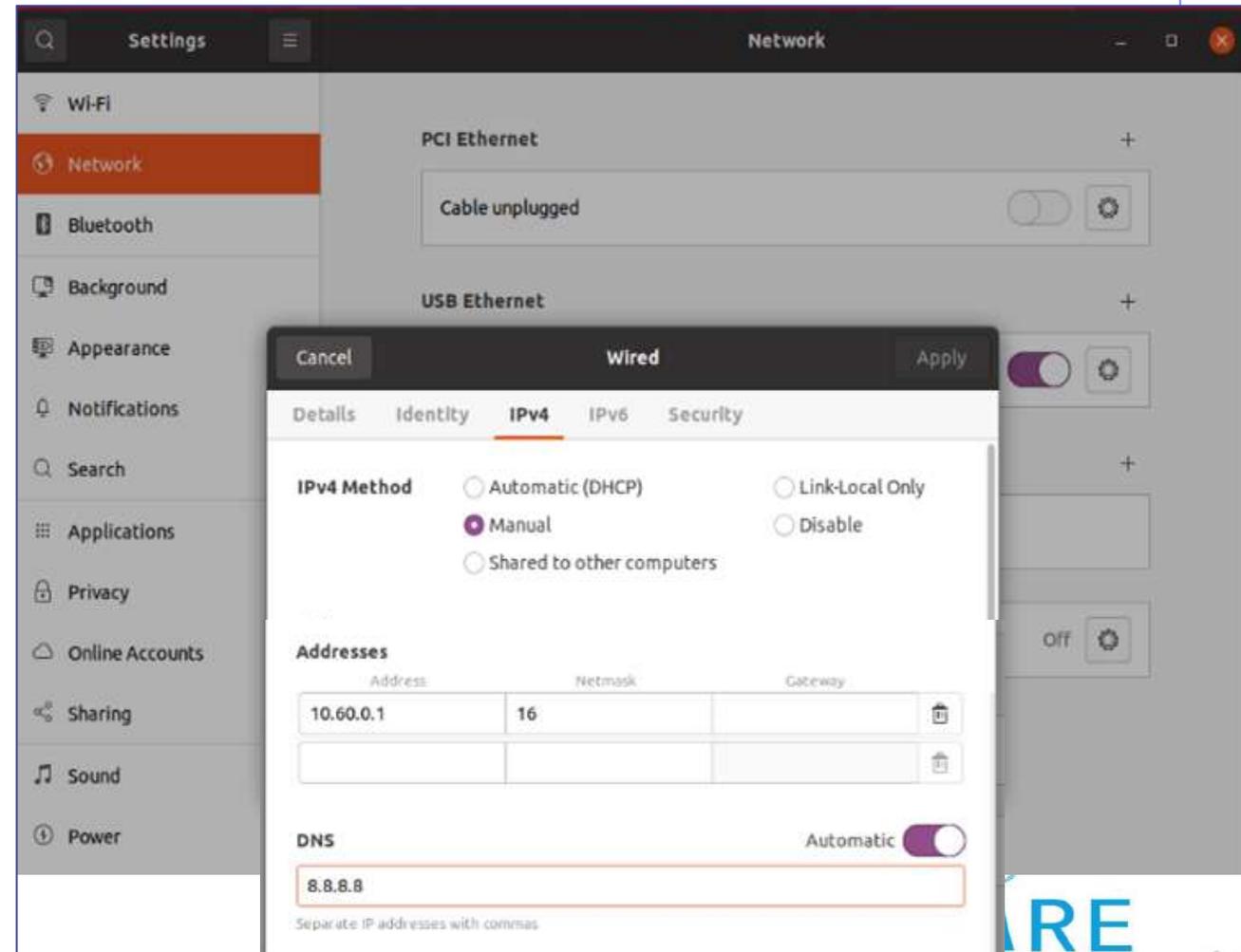


```
cslab@free5GC-HP: ~/free5gc_v3.1.1/free5gc
N] | 200 | 127.0.0.1 | GET | /nudr-dr/v1/subscription-data/imsi-001350123456182/
ai=%7B%22sst%22%3A1%2C%22sd%22%3A%2010000%22%7D |
N] | 200 | 127.0.0.1 | GET | /nudm-sdm/v1/imsi-001350123456182/sm-data?dn
22mnc%22%3A%2235%22%7D&single-nssai=%7B%22sst%22%3A1%2C%22sd%22%3A%2010000%22%7D |
TX] Allocated UE IP address: 10.60.0.1
TX] Selected UPF: upf1
duSess][1][imsi-001350123456182] Allocated PDUAddress[10.60.0.1]
SM] In HandlePDUSessionEstablishmentRequest
onvert] ProtocolOrContainerList: [0xc00015b100 0xc00015b160 0xc00015b1a0 0xc00015b200
015b300 0xc00015b360 0xc00015b3a0]
SM] Protocol Configuration Options
SM] &{[0xc00015b100 0xc00015b160 0xc00015b1a0 0xc00015b200 0xc00015b240 0xc00015b280 0xc0
5b3a0]}
GSM] Didn't Implement container type InternetProtocolControlProtocolUL
GSM] Didn't Implement container type IPAddressAllocationViaNASSignalingUL
GSM] Didn't Implement container type MSSupportOfNetworkRequestedBearerControlIndicatorUL
GSM] Didn't Implement container type MSSupportOfLocalAddressInTFTIndicatorUL
GSM] Didn't Implement container type UEStatus3GPPPSDataOffUL
GSM] Didn't Implement container type QoSRulesWithTheLengthOfTwoOctetsSupportIndicatorUL
GSM] Didn't Implement container type QoSFlowDescriptionsWithTheLengthOfTwoOctetsSupportIndica
DISC] GetNFInstances - queryParams[map[requester-nf-type:[SMF] target-nf-type:[PCF]]]
GIN] | 200 | 127.0.0.1 | GET | /nnrf-disc/v1/nf-instances?requester-nf-type=SMF&tar
SMpolicy] Handle CreateSmPolicy
DRepo] Handle PolicyDataUesUeIdSmDataGet
GIN] | 200 | 127.0.0.1 | GET | /nudr-dr/v1/policy-data/ues/imsi-001350123456182/sm-
3A1%2C%22sd%22%3A%2010000%22%7D |
GIN] | 201 | 127.0.0.1 | POST | /npcf-smpolicycontrol/v1/sm-policies |
3A1%2C%22sd%22%3A%201350123456182] Has no pre-config route
instances?requester-nf-type=SMF&tar
```

# 連接 5G 網路(12/14)

(操作在 連接5G USB無線網卡的筆記型電腦上)

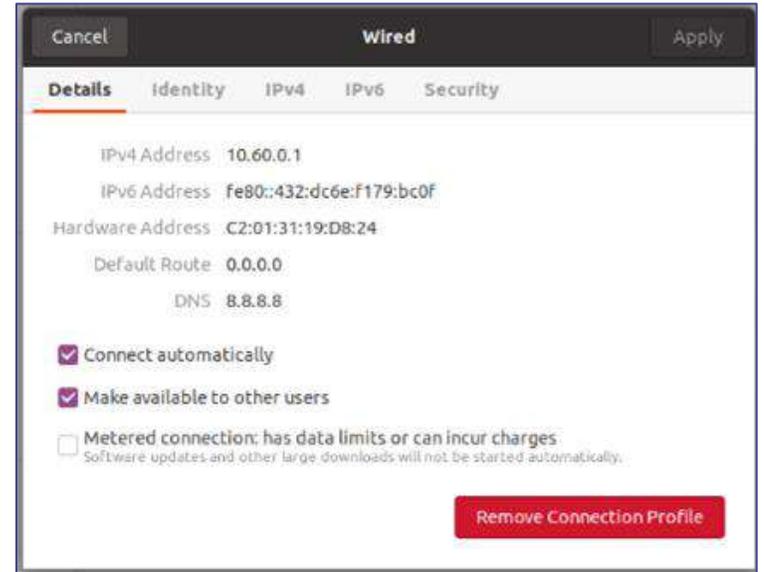
1. 重複Step 6
2. 進入IPv4介面
3. 選擇Manual
4. 在Addresses欄位輸入Step 11分配的PDUAddress，以及16在DNS欄位輸入8.8.8.8
5. 點擊Apply，以儲存變更設定



# 連接 5G 網路(13/14)

(操作在 連接5G USB無線網卡的筆記型電腦上)

1. 等待電腦重新連結，確認Connect的Details介面中IPv4 Address變為剛剛輸入之PDUAddress
2. 到Terminal中輸入ifconfig，複製類似紅框中的字串



```
cslab@free5GC:~$ ifconfig
cslab@free5GC:~$ ifconfig
enp0s31f6: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
  ether ec:79:49:43:13:a1 txqueuelen 1000 (Ethernet)
  RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
  RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
  TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
  TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
  device interrupt 16 memory 0x5c400000-5c420000

enx2a6538de32ba: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
  inet 10.60.0.2 netmask 255.255.0.0 broadcast 10.60.255.255
  inet6 fe80::2d32:1077:d460:6c5f prefixlen 64 scopeid 0x2<link>
  ether 2a:65:38:de:32:ba txqueuelen 1000 (Ethernet)
  RX packets 13935 bytes 10506947 (10.5 MB)
  RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
  TX packets 11549 bytes 1194932 (1.1 MB)
  TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```



# Jamulus安裝與操作

# Jamulus安裝 (1/3)

1. 進入 <https://jamulus.io/>
2. 根據系統選擇安裝(Windows、macOS、Linux)

p.s. 要充分運用Jamulus至少需要

- 有線乙太網路連接
- 有線耳機
- 音頻設備、聲卡和/或麥克風

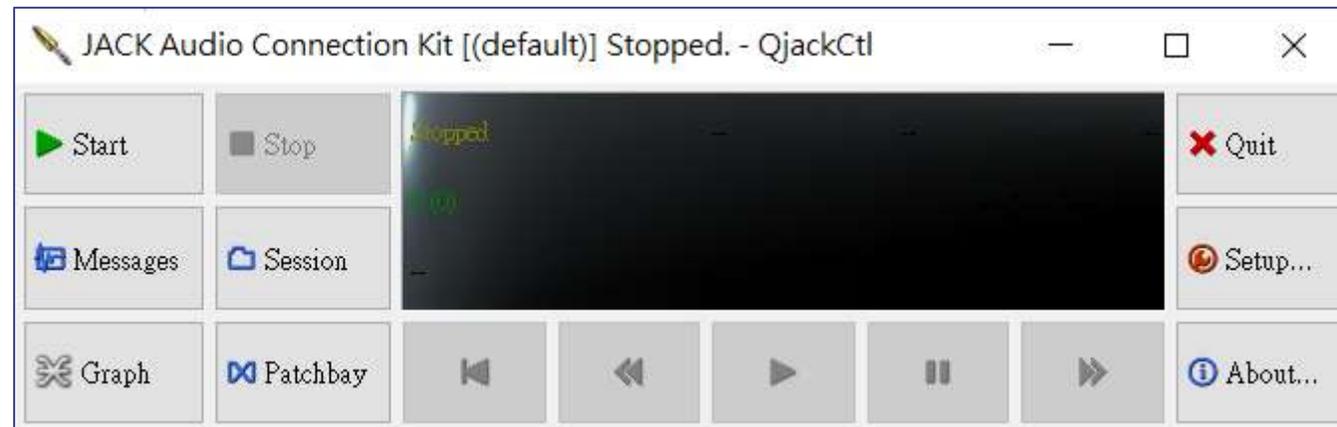
To get the best from Jamulus, at a minimum you will need:

1. **A wired internet connection** (not wi-fi - see the [FAQ](#))
2. **Wired headphones** (not Bluetooth or speakers - see the [FAQ](#))
3. **A reasonable audio device, sound card and/or mic** 示例 (see [this list](#) for examples)



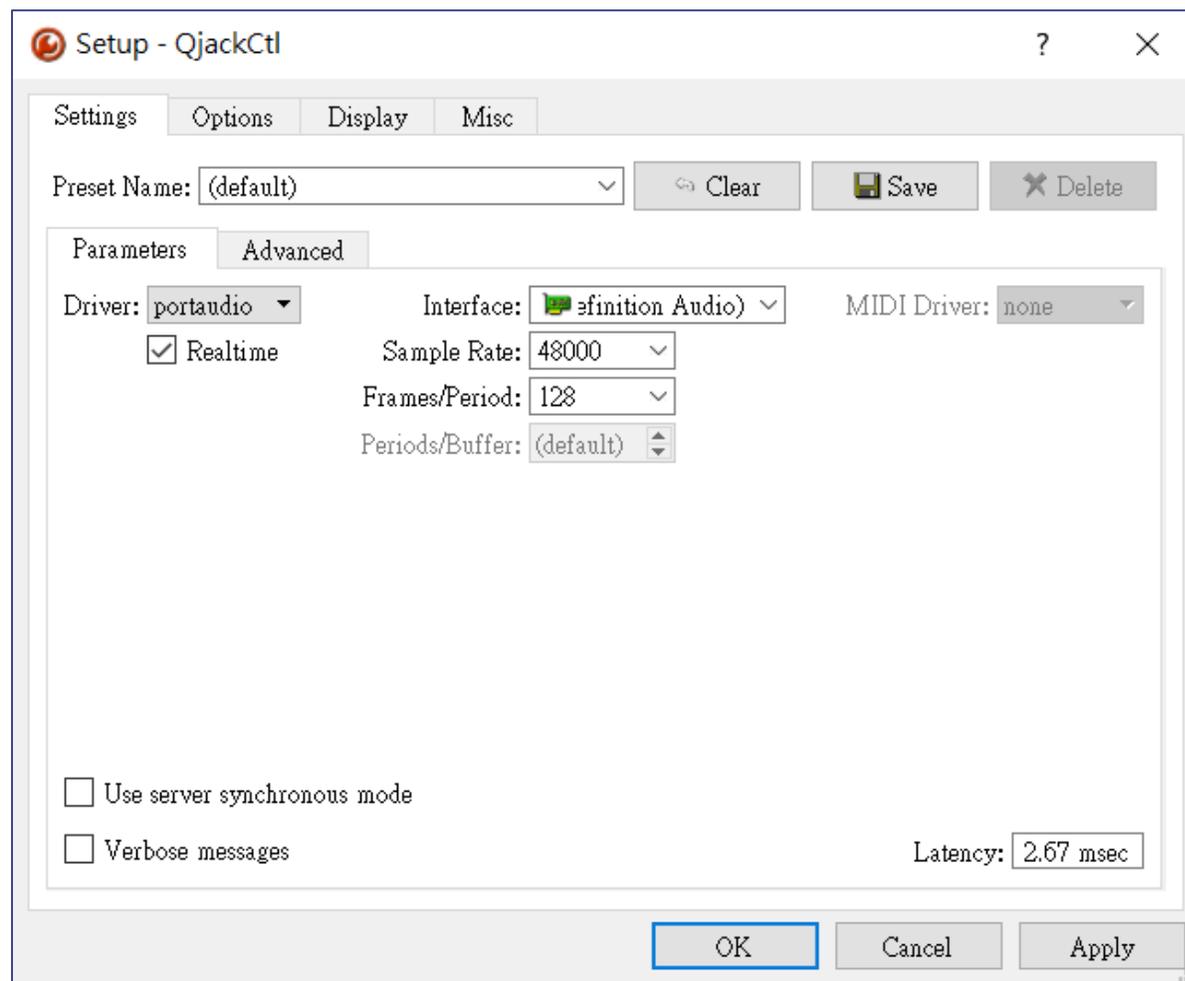
# Jamulus安裝 (2/3)

1. Jamulus Client需要JACK才能運行，所以需要先下載再設置
2. 安裝QjackCtl (<https://qjackctl.sourceforge.io/>)



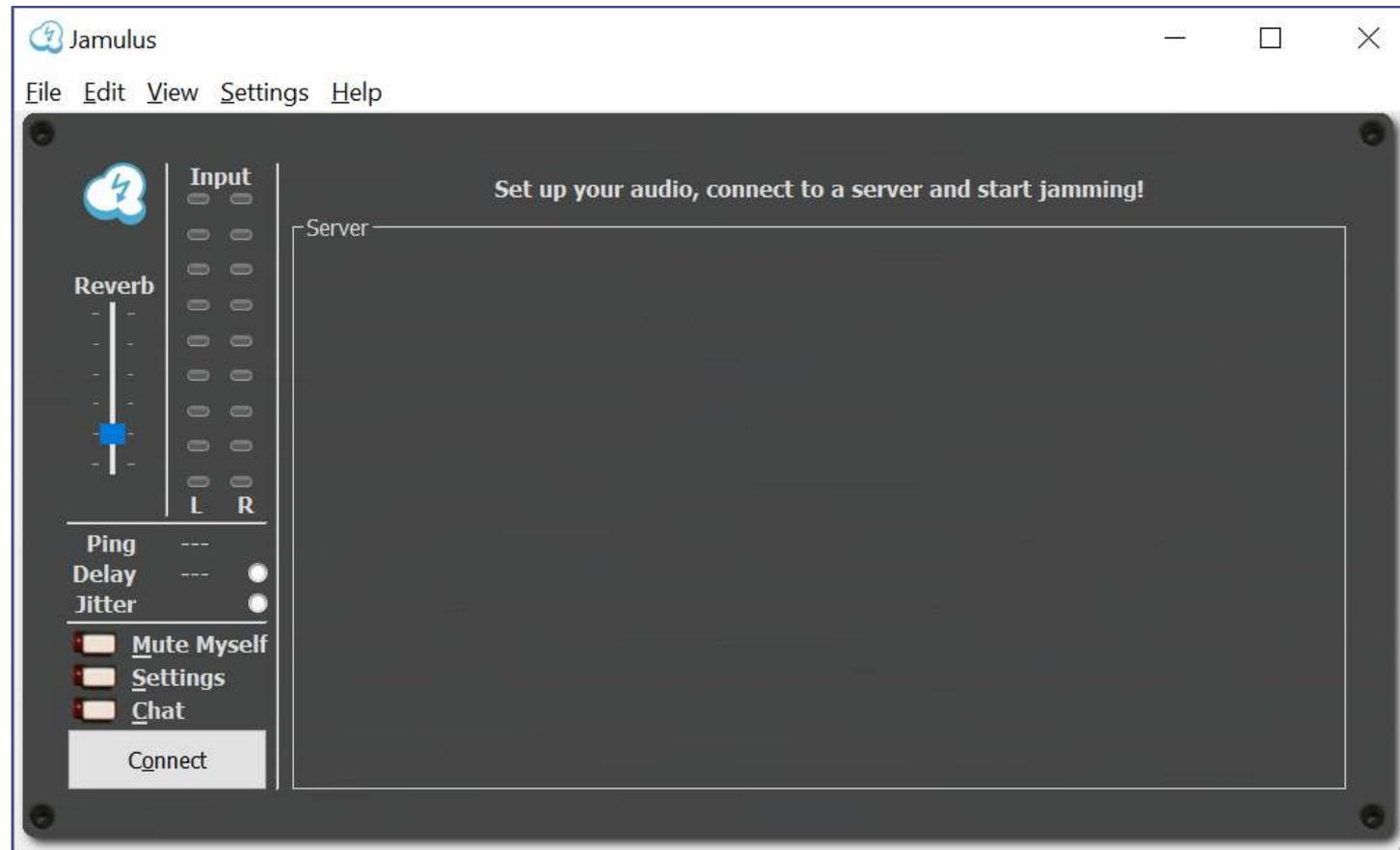
# Jamulus安裝 (3/3)

1. 啟動QjackCtl，點選setup
2. 將audio interface設置成自己需要的
3. 將sample rate設成48000
4. 將Frame/Period設成128



# Jamulus操作 (1/5)

- QjackCtl 設置完後，啟動Jamulus，可以看到Jamulus的主畫面

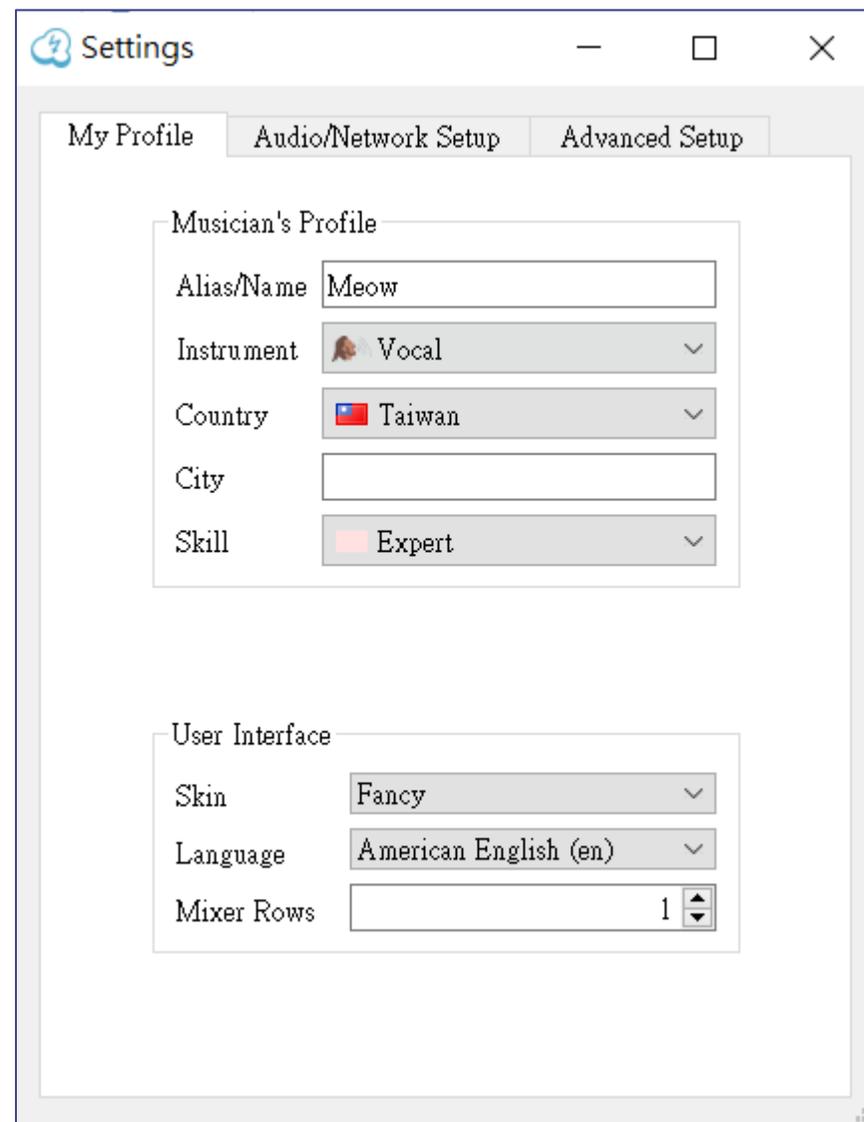


# Jamulus操作 (2/5)

1. 點選主畫面左下角的settings

2. 點選My Profile，設置個人資料

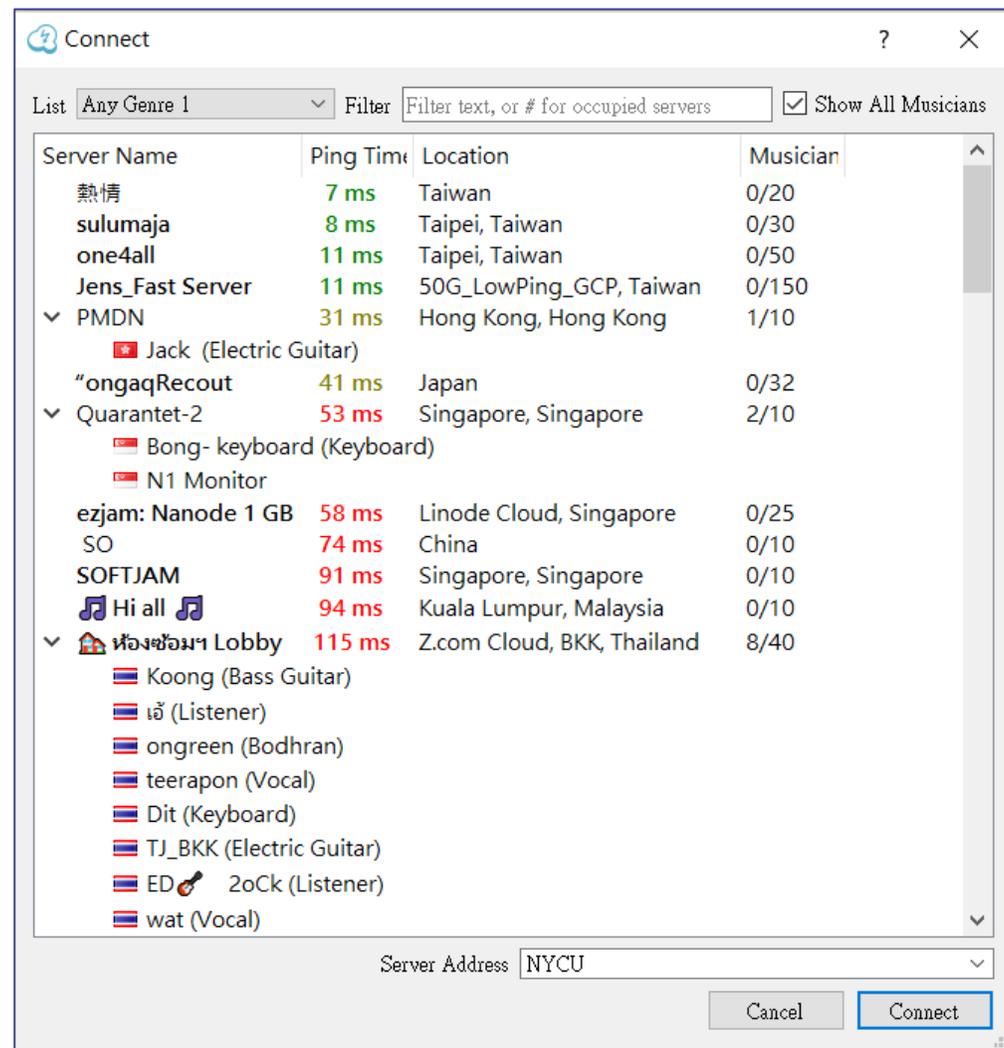
- Alias/Name 設置暱稱
- Instrument 聲音
- Country 設置國家
- Skill 擅長程度



# Jamulus操作 (3/5)

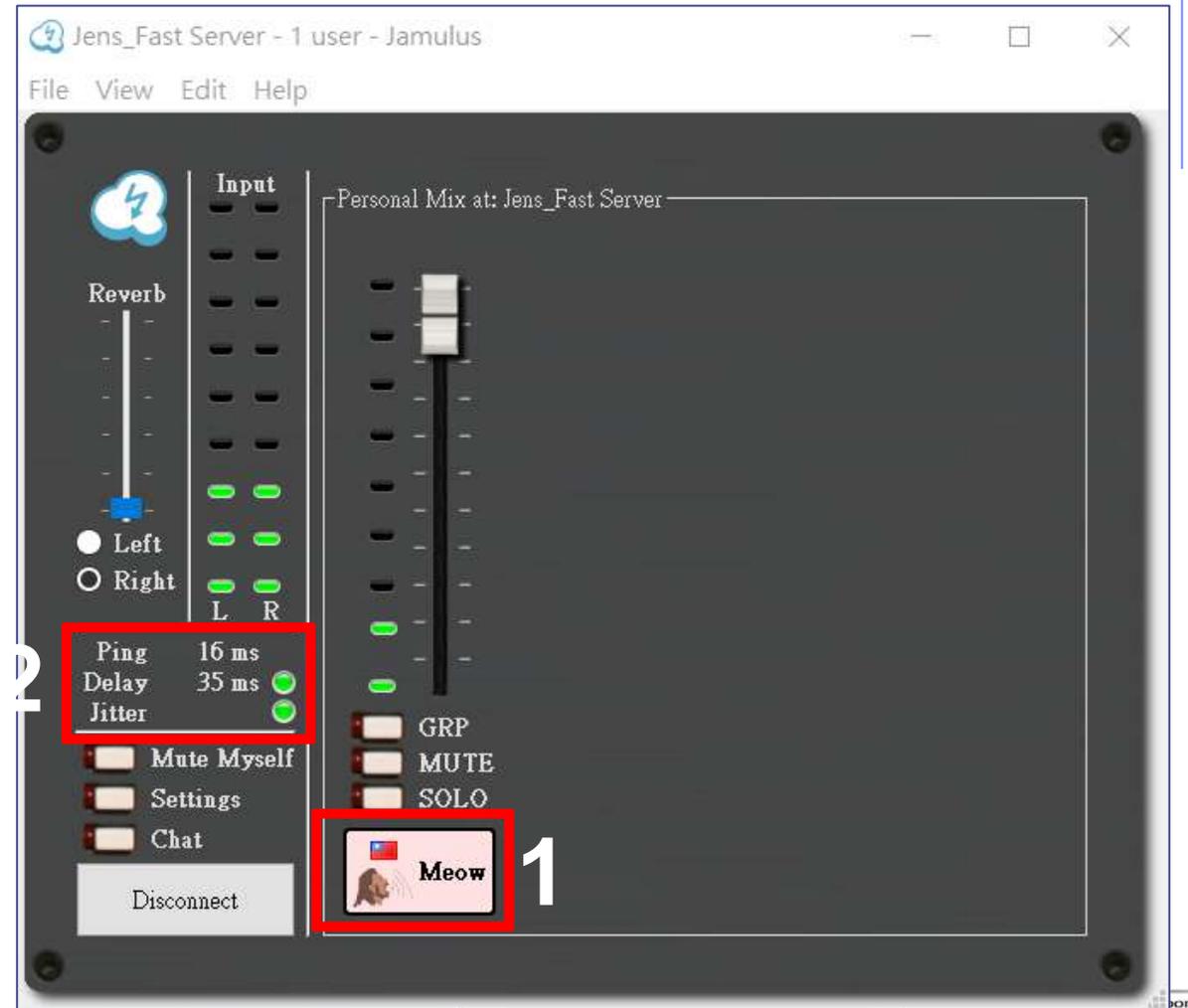
1. 回到主畫面，點選左下角的connect
2. 左上角的list可選擇想加入的頻道種類
3. 選擇其中一個server後，按下connect

p.s. Ping Time數字越小，延遲也會較小



# Jamulus操作 (4/5)

1. 連到server後，可以看到自己的暱稱
2. 可以看到ping與delay的狀況，綠燈代表很優。





# 架設Jamulus Server

# Jamulus server (1/4)

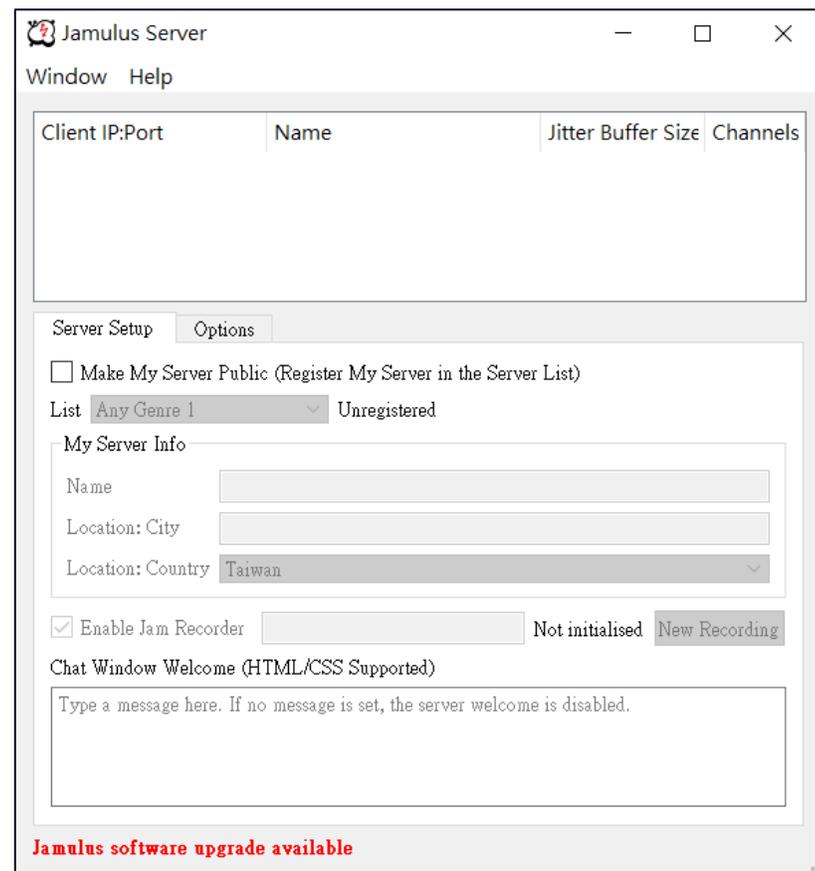
1. 設置Jamulus private server (以Windows為例)
2. 首先要取得Jamulus檔案位置
3. 對桌面的Jamulus icon按右鍵
4. 按內容
5. 可從內容取得檔案路徑

"C:\Program Files\Jamulus\Jamulus.exe"



# Jamulus server (2/4)

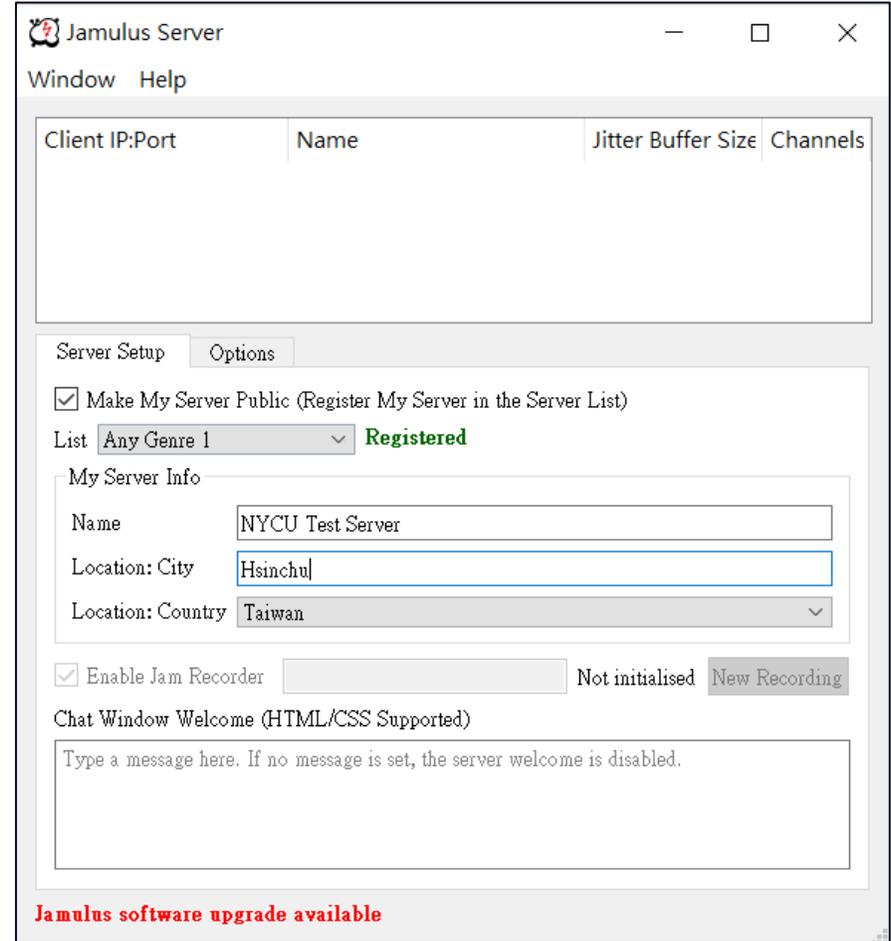
1. 打開命令提示字元(cmd)
2. 輸入剛剛取得的路徑後面加上--server或是-s  
"C:\Program Files\Jamulus\Jamulus.exe --server"
3. 會顯示出Jamulus server的GUI



# Jamulus server (3/4)

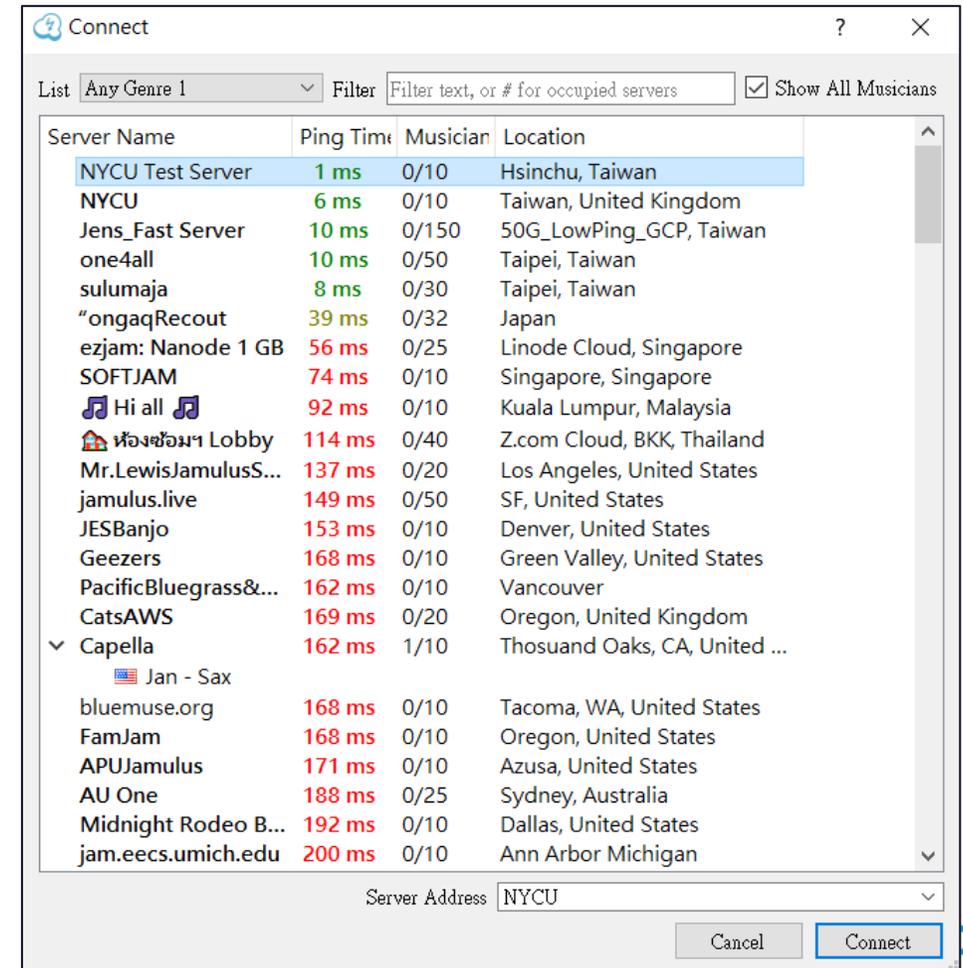
1. 將Make My Server Public勾選
2. 設置My Server Info
3. 如果List右邊顯示Registered代表成功

- Name 設置Server名稱
- Location: City 設置城市
- Location: Country 設置國家



# Jamulus server (4/4)

1. 打開Jamulus Client
2. 選至所設之List
3. 可以看到Server已經架設成功



# 操作Web Server

# Web server (1/6)

1. 透過網址(<http://10.10.0.57:8000>)  
進入網站
2. 點選場域一

## 教育部5G校園實驗網 示範場域計畫

5G行動通訊網路校園應用



# Web server (2/6)

1. 找出一首想唱的歌曲
2. 點選「進入包廂」



The screenshot shows a web application interface for a singing system. At the top, there is a large title "校慶遠端合唱系統" (Camp Anniversary Remote Chorus System) in red. Below the title, a message reads: "親愛的使用者您好，此場域為遠端合唱系統。有三個唱歌包廂可依個人喜好進入對應包廂，祝您歡唱愉快！" (Hello dear user, this field is for the remote chorus system. There are three singing rooms that can be entered according to personal preference, wishing you a happy singing time!).

Below the message, there are three columns representing different singing rooms:

- 一號包廂** (Room 1): 卡加布列島 (Cagay Islands)
- 二號包廂** (Room 2): 小幸運 (Little Luck)
- 三號包廂** (Room 3): 知足 (Contentment)

Each room has a red button labeled "進入包廂" (Enter Room). At the bottom of the interface, there are navigation links: "← PREV PAGE", "COPYRIGHT © 2021 NYCU WIRELAB, ALL RIGHTS RESERVED.", and "NEXT PAGE →".

# Web server (3/6)

1. 進入包廂後會有確認畫面
2. 確認是否有進入對的包廂
3. 如果好了按下「準備好了」，  
否則按下右上角的「X」退出



# Web server (4/6)

1. 按下準備鍵後會進入等待畫面
2. 在此頁面不需要進行任何操作
3. 等待直到另一位使用者進入包廂



# Web server (5/6)

1. 等待另一位使用者加入後，顯示  
倒數3秒畫面
2. 當3秒倒數結束後，會開始響起  
所選歌曲



# Web server (6/6)

1. 秒數倒數結束後，畫面會出現動態歌詞
2. 使用者的歌聲會透過Jamulus Server，傳送合成後的歌唱聲音

