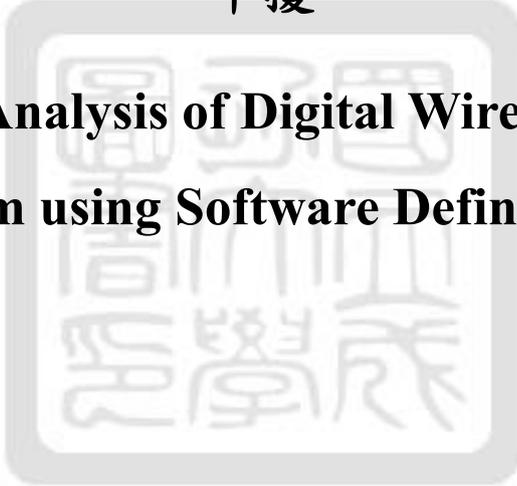


國立成功大學  
電信管理研究所  
碩士論文

以軟體定義無線電技術分析數位無線電視頻段之  
干擾

**Interference Analysis of Digital Wireless Television  
Spectrum using Software Defined Radio**



研究生：王紫瑜

指導教授：陳文字 博士

中華民國一百零九年六月

國立成功大學

碩士論文

以軟體定義無線電技術分析數位無線電視頻段之干擾  
Interference Analysis of Digital Wireless Television  
Spectrum using Software Defined Radio

研究生：王紫瑜

本論業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

林易泉

陳文宇

林福林

林桐君

指導教授：陳文宇

系(所)主管：陳勁甫

中華民國 109 年 6 月 29 日

## 摘要

隨著全球行動上網的需求以及網路流量不斷地上升，以及電信、電視、廣播、衛星、5G 等應用，造成頻譜的需求擴大，而 TV White Space(TVWS) 共享技術便是將頻譜使用做最佳化運用的一個方法，TVWS 是在電視廣播服務數位化後，由原先類比訊號所空出的頻段。在不影響原有無線數位電視訊號的前提下，這些未使用的頻段可以提供類似 Wi-Fi、藍芽等無線網路裝置使用，且不需要執照，而這些裝置必須遵守相關的無線網路協定，包括 IEEE 802.11af 以及 IEEE 802.22 等。本研究透過軟體定義無線電(Software Defined Radio；SDR)實作一個測試干擾的實驗平台，使用 RF 設備 USRP B200 mini 來發射及接收訊號。本實驗以 DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial)作為實驗的受害者，在軟體內利用加法器來同時接收干擾源及解調預錄檔，並發射一個符合 IEEE 802.11af 標準的干擾源。在同頻干擾方面，固定干擾源的中心頻率並調整其增益值(gain)，測試不同干擾訊號強度對 DVB-T 的影響；在鄰頻干擾方面，固定干擾源的增益值並調整其中心頻率，測試在 DVB-T 及干擾訊號間不同頻譜位移(frequency offset)需要預留的保護頻寬(guard band)。實驗結果以 64QAM 星座圖以及 FFT 頻譜圖觀察受害者被干擾的程度，並以 VLC 媒體撥放器觀看 DVB-T 解調變後的節目影片，最後以節目影片的音訊遺失數、視訊遺失數及輸入丟棄數來判斷節目影片受干擾的程度，由實驗結果可以發現，干擾源之訊號強度越強則影響節目影片之品質越大，而頻譜位移小於 3MHz 時會開始影響節目影片之品質。本研究透過設計 GNURadio 上的模組實現一個可測試干擾的實驗平台，不僅節省許多成本，也體現了 SDR 其運用的靈活度。

關鍵字：軟體定義無線電、GNURadio、DVB-T、同頻干擾、鄰頻干擾

# Interference Analysis of Digital Wireless Television Spectrum using Software Defined Radio

Tzu-Yu Wang

Wen-Tzu Chen

Institute of Telecommunications Management

National Cheng Kung University

## SUMMARY

With the increasing demand of global mobile Internet and wireless communications, TV white space (TVWS) sharing technology is a way to optimize the use of spectrum. TVWS is the frequency band vacated by the original analog signal after the digitalization of TV broadcasting services. Without affecting the original wireless digital TV signal, these unused frequency bands can be used by wireless network devices such as Wi-Fi, Bluetooth, etc. This kind of spectrum usage does not require a license. However, these radio devices must comply with the relevant wireless network protocols, including IEEE 802.11af and IEEE 802.22. In this study, software-defined radio technology is used to implement an experimental platform for testing interference, and the RF equipment USRP B200 mini is used to transmit and receive signals. This experiment takes DVB-T as the victim of radio communication. On the other hand, we have an interference source that complies with the IEEE 802.11af standard. For co-channel interference, we fix the center frequency of the interference source and adjust its gain to test the effect of different interference signal strengths on DVB-T. For adjacent-channel interference, we fix the gain of the interference source and adjust its center frequency for the purpose of finding the guard band that need to be reserved for different frequency offsets between DVB-T and interference signals. The experimental results use 64QAM constellation diagram and FFT spectrum diagram to observe the degree of victim's interference, and use VLC media player to observe the DVB-T demodulated program video. Finally, the number of audio loss, video loss, and the number of discards to determine the degree of interference of the program video. From the experimental results, it can be found that the stronger the signal strength of the interference source, the greater impacts on the quality of the program video. The frequency offset of less than 3MHz will begin to affect the quality of the program video. This study realized an experimental platform that can test interference by designing modules on GNURadio, which not only saves a lot of costs, but also reflects the flexibility of SDR in its application.

**Keywords:** Software Defined Radio, GNURadio, DVB-T, co-channel interference, adjacent-channel interference

## INTRODUCTION

As the demand for radio spectrum expands, TV White Space (TVWS) can maximize the use of spectrum resources by digitizing TV broadcasting services and using the frequency bands vacated by the original analog signals. These frequency bands can provide license-free wireless network devices. However, these White Space Devices (WSDs) must comply with 802.11af and IEEE 802.22 agreements, and cannot affect the original wireless digital TV signal. Generally, TVWS can be divided into two types. The first is space. The transmission or reception of TV signals has a certain coverage. WSD can use the same TV frequency band outside this range but need to pay attention to the problem of co-channel interference (CCI). The second type is frequency. Spectrum resources can be distinguished by frequency, and the unused frequency band is called spectrum hole. However, we need to pay attention to the problem of adjacent channel interference (ACI). Because the interference of the TVWS frequency band has a great impact on digital wireless TV and wireless network users, this study uses software defined radio (SDR) technology experimental environment to analyze its interference. SDR is used for co-channel interference and adjacent-channel interference research, to implement the Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T) interference experiment platform, and to evaluate the degree of interference of the interference signal on the DVB-T program film.

## MATERIALS AND METHODS

In this thesis, GNU Radio, a software-defined radio development platform under the Linux operating system, is selected as the software platform for this study, while the front-end hardware radio frequency (RF) device uses USRP B200 mini. My experimental architecture is shown in Figure 1. After receiving the real-time wireless TV signal from Taiwan with USRP B200 mini, it is pre-recorded. After demodulation and decoding by GNURadio software, FFT and constellation diagram will be generated and displayed on the VLC media player. Playing the program video, the interference source is to connect the computer with the USRP B200 mini. We set the OFDM parameters through GNURadio to transmit radio waves. Taiwan's DVB-T was used as the victim of the channel. The frequency of the receiver was fixed at 557MHz and the channel was 6; and the wireless network provided by the experimental simulation TVWS equipment was used as the source of interference.

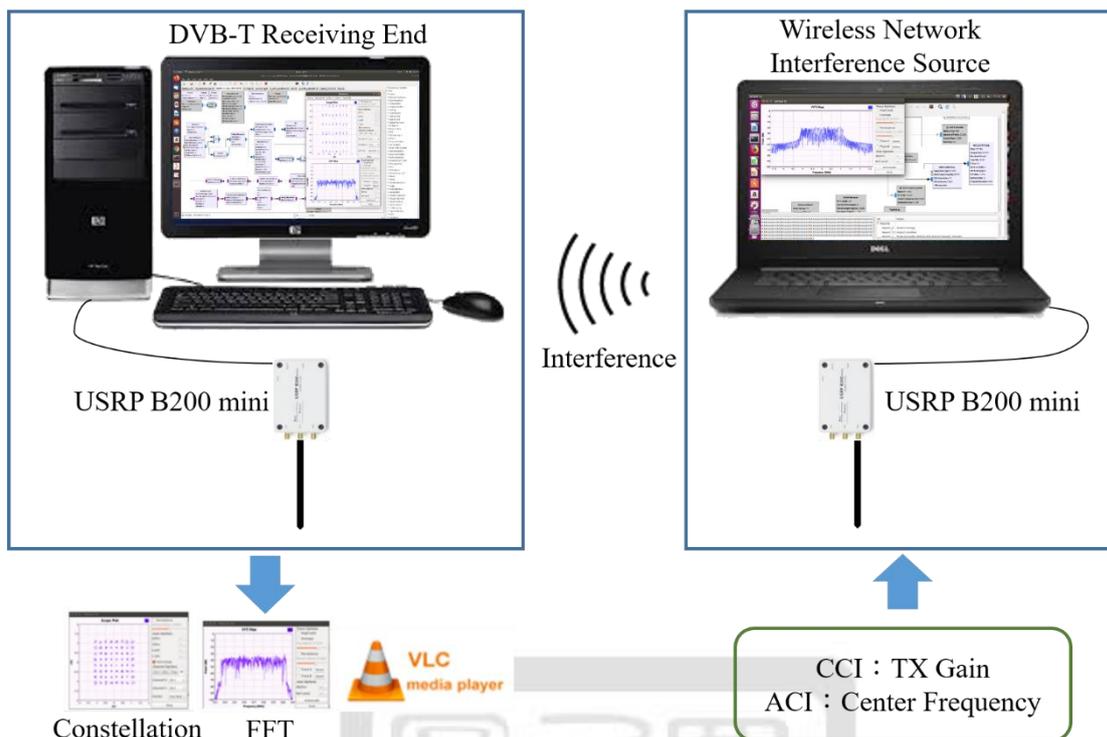


Figure 1. Experimental architecture diagram

In the part of co-channel interference, the frequency of the transmitter is fixed at 557MHz, and the gain value of the interference source transmission is adjusted from 60 dB to 75dB. The greater the power, the closer the interference source is to the victim. In the part of adjacent frequency interference, the gain value of the transmitter is fixed to 70dB, adjust the center frequency of the transmitter from 551 MHz to 563MHz, and observe the impact of the two signals of the transmitter and the receiver at different frequency offsets on the receiver.

## RESULTS AND DISCUSSION

This study determines whether DVB-T is interfered by observing the constellation diagram and FFT spectrum diagram. In the part of the constellation diagram, 64 aggregated points can be seen when the intensity of the interference signal is low, and these points will be broken up when there is an interference source. Next, we determine whether there is interference by watching the program video on the VLC media player after demodulating the pre-recorded file. In the part of co-channel interference, the greater the power of the interference source, the greater the damage of the film. In the part of adjacent frequency interference, the smaller the frequency offset is, the greater the damage of the film is.

Finally, the relevant statistical data of the program film can be obtained from the VLC media player. Figure 2 is the number of films lost due to different interference strengths in the CCI experiment. From the figure, it can be observed that the number of loss starts to increase when the gain value of the interference source is above 66dB. Figure 3 shows the number of lost videos caused by different frequency offsets in the ACI experiment. From the figure, it can be observed that the center frequency of the interference source is greater in the range from 554MHz to 560MHz.

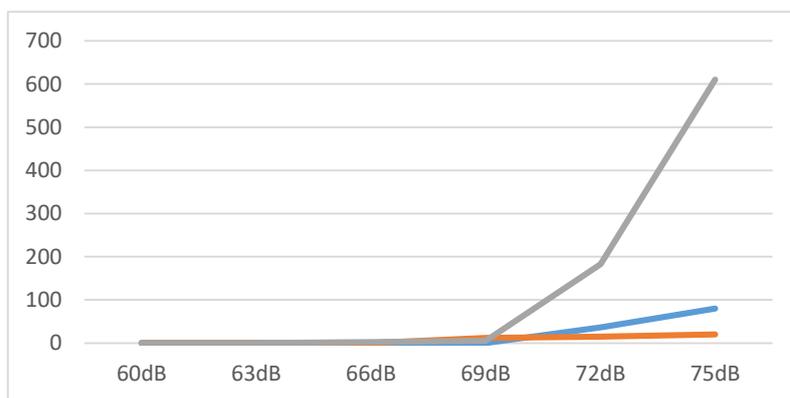


Figure 2. Number of lost program videos during CCI

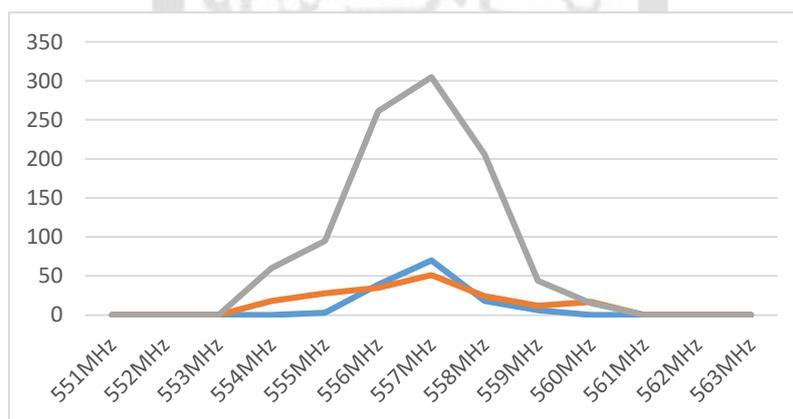


Figure 3. Number of lost program videos during ACI

### CONCLUSION

In the part of co-channel interference, it can be known from the experimental results that the stronger the signal strength of the interference source, the greater impact on the quality of the program film. In the part of adjacent frequency interference, from the experimental results, it can be known that the spectrum offset less than 3MHz will affect the quality of the program film. If it is only overlapped to 3MHz, it will hardly affect the program film. After the operation in two experimental scenarios, it can be found that the interference signal and the spectrum overlap within a certain range will affect DVB-T, i.e, the TV white band sharing technology is feasible.

## 致謝

從暨大資管系到現在的成大電管所，踏入通訊和電信這個不熟悉的領域，在電管所老師細心且用心的教導下，慢慢地開拓自己的視野，也體會到思考及表達的重要性。在寫論文的日子裡，經歷了許多因實驗卡關的垂頭喪氣，也有因實驗成功而得到的滿滿成就感，當然，這些經驗對我來說都是相當寶貴的。

感謝我的指導教授陳文字老師，不僅在每次的meeting指導我們做相關研究、論文，也會教導我們許多做人處事的道理，也謝謝老師給我野村實習的機會，還有氣候變遷和NCC計畫，在與老師相處及討論報告的過程，都讓我學習到很多。

很幸運地可以和大學同學青青在同一個實驗室，一起討論課業和生活上大大小小的事情，有了彼此的陪伴讓我的碩班生活增添許多色彩，我想這也是一個很難得的緣份；也謝謝實驗室的夥伴昭屏和鈺傑，在我遇到問題時樂意地幫我解答，以及所上同學的互相鼓勵。

最後感謝我的爸爸、媽媽和哥哥姊姊們的支持，讓我到台南讀研究所，在我遇到挫折或是壓力很大時，你們都很願意傾聽我訴苦、替我加油打氣，使我有動力可以繼續前進，也讓我 know 家裡是我永遠的避風港。我不會忘記這兩年在台南的所做所學，有歡笑也有淚水，這是我一輩子難忘的回憶。

紫瑜 謹誌

成功大學電信管理研究所

中華民國一零九年七月

# 目錄

表目錄 .....	IX
圖目錄 .....	X
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景與動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	3
1.3 論文組織 .....	3
第二章 文獻回顧探討 .....	5
2.1 TV WHITE SPACE 介紹 .....	5
2.1.1 TVWS 技術及架構 .....	6
2.1.2 TVWS 各國標準 .....	8
2.2 DVB-T 系統 .....	11
2.2.1 DVB-T 系統介紹 .....	11
2.2.2 正交分頻多工(OFDM) .....	12
2.2.3 軟體定義無線電 .....	16
2.3 無線網路相關協定 .....	18
2.3.1 IEEE 802.11af .....	18
2.3.2 IEEE 802.22 .....	19
2.3.3 IEEE 802.11af 與 IEEE 802.22 之比較 .....	20
2.4 DVB-T 頻段干擾之相關文獻 .....	20
第三章 研究架構 .....	23
3.1 實驗架構 .....	23
3.1.1 同頻干擾 .....	24
3.1.2 鄰頻干擾 .....	25
3.2 硬體裝置介紹 .....	27
3.2.1 USRP 技術規格 .....	27
3.2.2 電腦規格 .....	29
3.3 軟體架構 .....	30
3.3.1 GNU Radio .....	30

3.3.2 DVB-T 系統設計.....	32
3.3.3 接收端模組設計.....	33
3.3.4 DVB-T 系統運作流程.....	35
3.3.5 發射端模組設計.....	36
3.3.6 實驗參數.....	36
第四章 研究結果.....	38
4.1 星座圖及 FFT 觀察.....	40
4.2 影片清晰度觀察.....	41
4.2.1 同頻干擾.....	42
4.2.2 鄰頻干擾.....	43
4.3 實驗數據.....	45
4.3.1 同頻干擾.....	45
4.3.2 鄰頻干擾.....	48
第五章 結論.....	51
5.1 同頻與鄰頻干擾的影響.....	51
5.2 軟體定義無線電用於干擾研究之可行性.....	51
5.3 研究限制.....	51
5.4 未來研究建議.....	52
參考文獻.....	53

## 表目錄

表 1、TVWS 設備基本規範[1] .....	8
表 2、DVB-T 系統架構相關參數設定 .....	15
表 3、2K 和 8K 傳輸模式中各個導引訊號的子載波數量 .....	15
表 4、IEEE 802.11af 與 IEEE 802.22 標準之比較.....	20
表 5、USRP B200 mini 規格 .....	28
表 6、接收端的電腦規格 .....	29
表 7、發射端的電腦規格 .....	29
表 8、GNURadio Block 類型[13].....	32
表 9、DVB-T 模組參數設定 .....	37
表 10、干擾源參數設定 .....	37
表 11、同頻干擾實驗相關數據 .....	47
表 12、鄰頻干擾實驗相關數據 .....	50



## 圖目錄

圖 1、TVWS(interleaved spectrum)[1].....	5
圖 2、spectrum hole.....	7
圖 3、TVWS 架構示意圖[1].....	8
圖 4、DVB-T 系統架構.....	12
圖 5、OFDM 多載波傳輸示意圖[3].....	13
圖 6、傳統 FDM 頻譜與 OFDM 頻譜之比較[3].....	13
圖 7、OFDM 訊框架構.....	14
圖 8、軟體定義無線電架構圖[4].....	17
圖 9、IEEE 802.11 技術特性示意圖.....	18
圖 10、實驗架構圖.....	24
圖 11、頻譜位移.....	26
圖 12、USRP B200 mini[14].....	28
圖 13、USRP B200mini 原理架構[14].....	28
圖 14、GNURadio Companion(GRC).....	31
圖 15、GNURadio 架構圖.....	31
圖 16、通道解調變.....	34
圖 17、通道解碼.....	34
圖 18、加法器.....	34
圖 19、系統運作流程圖[16].....	35
圖 20、發射端的 GRC 流程圖.....	36
圖 21、同頻干擾實驗佈署情況.....	38
圖 22、鄰頻干擾實驗佈署情況.....	38
圖 23、mytest_rx.grc 的執行畫面.....	39
圖 24、tx_ofdm.grc 的執行畫面.....	39
圖 25、無干擾時的 64QAM 星座圖與 FFT 頻譜圖.....	40
圖 26、有干擾時的 64QAM 星座圖與 FFT 頻譜圖.....	41
圖 27、干擾源在不同中心頻率時其節目影片畫面.....	42
圖 28、干擾源在不同 gain 值時其節目影片畫面.....	44
圖 29、干擾的強度與增益之關係.....	45
圖 30、測量同頻干擾時預錄檔的頻譜.....	46
圖 31、測量同頻干擾時干擾源的頻譜.....	46

圖 32、同頻干擾時的頻譜圖 .....	46
圖 33、同頻干擾時節目影片的遺失數 .....	47
圖 34、測量鄰頻干擾時預錄檔的頻譜 .....	48
圖 35、測量鄰頻干擾時干擾源的頻譜 .....	48
圖 36、同頻干擾時的頻譜圖 .....	49
圖 37、鄰頻干擾時節目影片的遺失數 .....	50



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

隨著資通訊科技日新月異的發展，新的科技產品、新技術或創新應用一直不斷地推陳出新，這些服務便利了我們的日常生活，成了生活中不可或缺的一部分，舉凡一天之中的大小事，都可以發現我們越來越離不開有網路的生活。以學生來舉例，需要用筆電連上網路找資料、交作業或報告，也會使用手機裡的 Google Map 來查詢目的地的路線、用 Facebook 或 Instagram 來聯繫朋友、用 Uber Eats 來訂外送美食、用 Youtube 觀看娛樂或新聞影片等，而不管是筆電或手機都需要將裝置連上網路才能做後續動作，近年來手機裡的應用程式越來越豐富，用一支手機可以做到的事情越來越多，手機的方便攜帶性讓我們可以隨時隨地使用，第四代行動通訊帶來了更高的寬頻網路傳輸速度，這意味著行動寬頻數據流量的大幅成長。依據思科視覺化網路指數(Visual Networking Index；VNI)預測未來 5 年全球 IP 網路的趨勢，從 2017 年到 2022 年全球 IP 流量將成長超過 3 倍，而 2022 年這一年內產生透過全球網路傳輸的 IP 流量，將超越自網路誕生以來共 32 年的總流量，全年總流量預估為 4.8 ZB(zettabytes)。全球寬頻、Wi-Fi 及行動網速將提高兩倍或更多，全球 60%人口將成為網路用戶，同時有超過 280 億個裝置會透過網路互連，這些流量將由每一個人、使用的機器及以不同方式使用網路而產生，其中影片瀏覽、遊戲及多媒體內容將佔超過整體網路流量的 85%。

網路的規模及複雜性持續地以超乎想像的形式成長，自思科在 2005 年首度公布視覺化網路指數預測以來，全球行動上網的需求以及網路流量一直不斷地上升，造成頻譜的需求擴大。頻譜是一個珍貴且稀有的國家資源，人們可以將聲音、影像、文字或數據等資訊，藉由無線、衛星或其他相關之電子傳輸設備傳送至遠方，都是要拜傳輸之必要媒介「無

線電頻率」所賜，無線電技術將聲音訊號或其他訊號經過轉換之後，利用無線電波來傳輸，無線電波是頻率介於 3Hz 到 300GHz 之間的電磁波，而無線電頻譜是無線電波或電磁波的頻率。現今許多的應用都需要使用到頻譜資源，例如廣播、無線網路、第四代行動通訊、數位無線電視、氣象輔助、人造衛星接收、太空研究與作業、水上無線電助航、航空無線電助航等，從政府的軍事用途到民間的商業用途都顯示出對頻譜資源的需求極大，但是頻譜資源是有限的且並非人們可以任意取得，目前各國的頻譜規劃主要是依據國際電信聯盟(International Telecommunication Union；ITU)的無線電分配規則，各國訂定符合該國的頻率分配並發放頻譜執照，在頻譜資源供不應求的情況下，如何有效地管理頻譜並將頻譜做最有效率的使用，一直是各國政府通訊主管機構致力思考的問題。

藉由技術的革新可以提升頻譜資源的使用，其中，TV White Space 共享技術便是將頻譜使用做最佳化運用的一個方法。在類比無線電視數位化以後，類比的文字、聲音、影像所產生的訊號被轉換成數位訊號，數位訊號可以大量壓縮，因此原先類比訊號所使用的頻段便空出許多，而這些分配給無線廣播電視卻沒有被使用頻段就稱為 TV White Space，主要位於 30 MHz 到 3GHz 的 VHF/UHF 頻段，此頻段具有傳輸距離長、穿透性佳之優勢，可提供類似 Wi-Fi 的 TVWS 設備使用，像是 IEEE802.11af 的 Super Wi-Fi，或是在農村與郊區使用無線網路服務。電視廣播具有該頻段的優先使用權，而 TVWS 設備屬於次要使用，TVWS 設備在不影響原授權用戶的情形下，TVWS 設備可以以免執照的方式使用電視廣播未使用的頻段，TVWS 設備必須具備感知無線電及地理資訊資料庫，以避免干擾無線廣播電視或無線麥克風。目前積極研究並發展 TVWS 電視頻段共享技術的國家有美國、英國、新加坡、菲律賓、非洲等地區，一些

企業如微軟、Google、Dell、Intel 皆等紛紛投入相關研究以期商用化，而台灣對 TVWS 尚無明確的規劃。

## 1.2 研究目的

由於 TVWS 頻段之干擾對於數位無線電視和無線網路用戶都是一個很大的影響，因此本研究以軟體定義無線電技術的實驗環境來分析其干擾。數位電視的傳輸途徑可以分為三種：數位有線電視(DVB-C)、數位地面電視(DVB-T)、數位衛星電視(DVB-S)，台灣數位無線電視的服務於 2004 年 7 月開播啟用，採用的是歐洲規格的 DVB-T 系統，數位無線電視在台灣與類比無線電視共存了約 8 年之久，直到 2012 年 5 月起逐區關閉類比訊號後，於 2012 年 6 月完成數位轉換。本研究實驗的 TVWS 受害者為台灣的 DVB-T 頻道，而 TVWS 設備提供的無線網路服務作為干擾源，其依照 IEEE 802.11af 以及 IEEE 802.22 標準而設定相關參數。本研究目的為以下幾點：

- 使用軟體定義無線電實作出 DVB-T 的干擾實驗平台。
- 使用軟體定義無線電實測數位無線電視頻段上需要多少保護頻寬。
- 使用音訊及視訊遺失數、輸入丟棄數來評估節目影片的干擾程度。
- 將軟體定義無線電用於同頻干擾以及鄰頻干擾研究。

## 1.3 論文組織

本研究著重在以軟體定義無線電技術分析 TVWS 頻道上之干擾，TVWS 現有授權用戶之實驗設置為台灣的數位無線電視 DVB-T，而 TVWS 設備的無線網路是依據相關標準而設定 OFDM 之參數，發射干擾源訊號並用 FFT 圖、星座圖、解碼影像、音訊遺失數、視訊遺失數及輸入丟棄數來評估節目影片是否被干擾來評估其訊號強度的干擾程度，最為後給予功率大小及保護頻寬之建議。

本研究之第一章提及研究背景及動機，因為行動網路流量的提升造

成頻譜需求擴大，而 TV White Space 共享技術可以增進頻譜資源的使用效率，最後歸納出本研究之目的。第二章針對 TV White Space 之簡介、技術架構、各國標準做探討，介紹實作 DVB-T 系統需要用到的正交多頻分工(OFDM)、軟體定義無線電(SDR)之相關知識背景，以及 TVWS 設備必須遵循的 IEEE 802.11af 以及 IEEE 802.22 協定規範，該章末段為 DVB-T 頻段干擾之相關文獻，並將本研究與以往文獻進行比較。第三章介紹實驗過程中會使用到的軟體平台 GNURadio，以及硬體設備 USRP B200 mini 的技術規格，並針對 DVB-T 系統之設計做探討，包括軟體定義無線電的模組設計以及系統運作流程，最後敘述本研究之實驗架構，以 USRP B200 mini 接收台灣無線電視之訊號，再以 USRP B200 mini 發送無線網路之電波，觀察在有干擾源的情形下，其 FFT、星座圖、解碼影片、音訊遺失數、視訊遺失數及輸入丟棄數的變化，來評估干擾源訊號強度對 DVB-T 的干擾程度，並給予需要預留多少保護頻寬的建議。

## 第二章 文獻回顧探討

### 2.1 TV White Space 介紹

無線電頻譜是世界各國為數有限的寶貴資源，在電信自由化後，電信、電視、廣播、衛星等無線服務陸續地佔用國家頻譜，加上行動通訊技術的發展越來越進步，各式新穎的通訊設備與應用服務相繼推出，行動寬頻數據流量大幅成長，造成對頻譜的需求擴大，在有限的頻譜資源已供不應求的狀況下，因此如何讓頻譜的使用發揮最大效用是世界各國主管單位一直關切的議題，其中，將頻譜依時間、空間、頻率的不同達到共享使用是頻譜供應的一個替代方案，而近年來的 TVWS(TV White Space；電視空白頻段)共享技術變是一項重要的應用。

電視廣播服務數位化後，類比訊號轉換為數位訊號，因數位訊號所需的頻寬較小，使得原先的類比訊號所使用的頻段空出，在不同的時間或地理區域下，可能會存在未使用或是已分配卻未使用的頻譜、頻道間的保護頻帶，這些未充分開發使用的頻譜稱為 TVWS，也被稱為間隔頻譜(interleaved spectrum)，圖 1 中大圓是電視廣播使用的地區，小圓是 TVWS 利用頻譜間隔使用低功設備的地區，而黃色未被覆蓋的則是頻譜未被使用的地區。

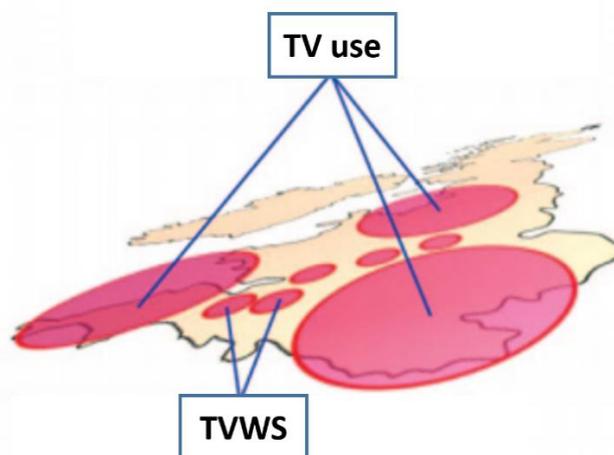


圖 1、TVWS(interleaved spectrum)[1]

各國電視廣播頻譜主要配置於頻段為 30MHz 到 300MHz 的特高頻 (Very High Frequency ; VHF) , 以及頻段為 300MHz 到 3GHz 的超高頻 (Ultra High Frequency ; UHF) 頻段 , 其中又以 UHF 頻段的頻率具備的優良特性 , 如長距離、非視距(non line-of-sight)、室外與室內覆蓋等高穿透性 , 一些主管機關已經確定除了廣播以外 , 將會利用 UHF 頻段來提供商用的無線服務。TVWS 技術屬於低功率性質 , 對於機器對機器(Machine to Machine ; M2M)通訊設備和低功率的無線寬頻應用 , 可以透過 UHF 頻譜實現更廣泛的覆蓋範圍。

### 2.1.1 TVWS 技術及架構

TVWS 的出現取決於各種因素 , 包括地理特徵、既有電視廣播服務的潛在干擾程度、電視的覆蓋率目標與相關規劃、電視頻道的利用率等 , 在不同位置出現的可使用 TVWS 不盡相同 , 一般 TVWS 的可用情況可以分為以下情形或組合 :

- 空間(Space) : 電視訊號的發送或接收有一定的涵蓋範圍 , 在涵蓋範圍以外的地理區域不會有電視訊號 , 因此 TVWS 裝置可以在此涵蓋範圍間或範圍外的地理區域使用相同的電視頻道 , 並不會影響到原使用者的訊號 , 但若有兩個以上的無線通訊裝置在相同的頻道上使用 , 必須考慮到同頻干擾的問題 , 並保留適當的空間距離以避免降低彼此的效能。
- 頻率(Frequency) : 頻譜資源可以以頻率、時間來區分是否閒置 , 而此未被使用的頻段被稱為頻譜空洞(spectrum hole) , 如圖 2 所示。某些地區為了避免電視廣播頻率太相近會產生干擾 , 而規劃保護頻道 (guard channels) , 若有兩個以上的無線通訊裝置在相近的頻道上使用 , 必須要考慮到鄰頻干擾的問題 , 以避免原有使用者受到其他未持有執照使用的干擾。

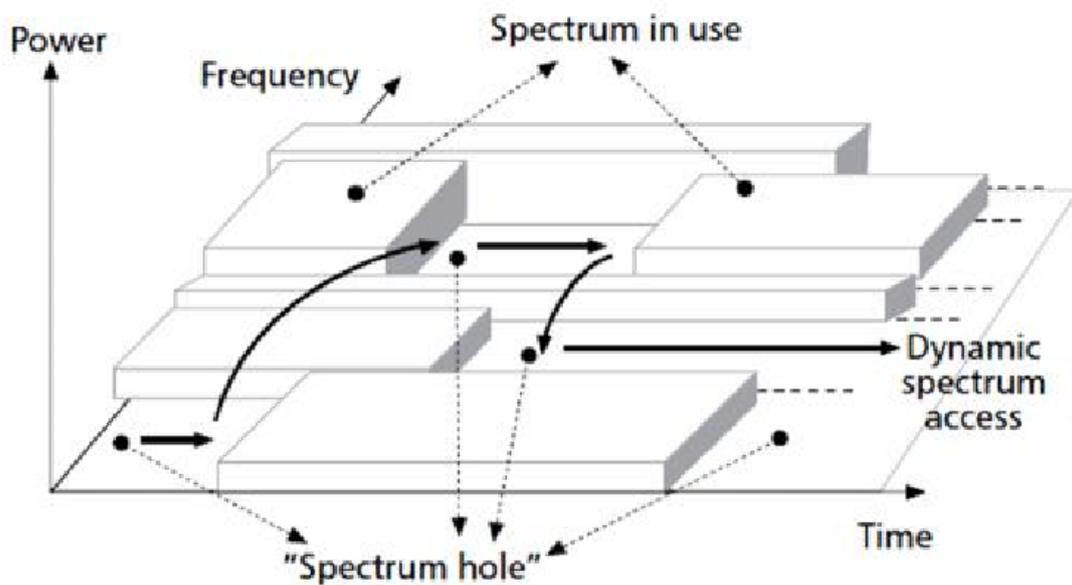


圖 2、spectrum hole

圖 3 為 TVWS 架構示意圖，TVWS 無線裝置可以區分為固定於單一地點的固定裝置(fixed devices)與移動式的行動裝置(portable devices)。固定裝置的發射範圍較大，例如無線網路服務之基地台，固定裝置必須備有位置感測(location awareness)技術及頻段感測(spectrum sensing)技術，並透過網路和地理位置資料庫(geolocation database；GDB)聯繫，其主控(master)裝置會週期性地向地理位置資料庫查詢確認所在地點可供使用的 TVWS 頻道列表，以避免對附近的廣播電視服務造成干擾，而地理位置資料庫也會持續更新資料庫的資訊，以提供 TVWS 設備動態的 TVWS 可用頻道。而行動裝置區分為 Mode I 與 Mode II，其中 Mode II 的運作類似固定裝置，亦具備與地理位置資料庫連線的能力；行動裝置 Mode I 則受到固定裝置或 Mode II 的控制，需透過固定裝置或行動裝置 Mode II 間接取得可用的頻譜資訊。

各國對 TVWS 設備之相關技術要求有明確的定義，表 1 為 TVWS 設備的基本規範，以美國及新加坡為例。

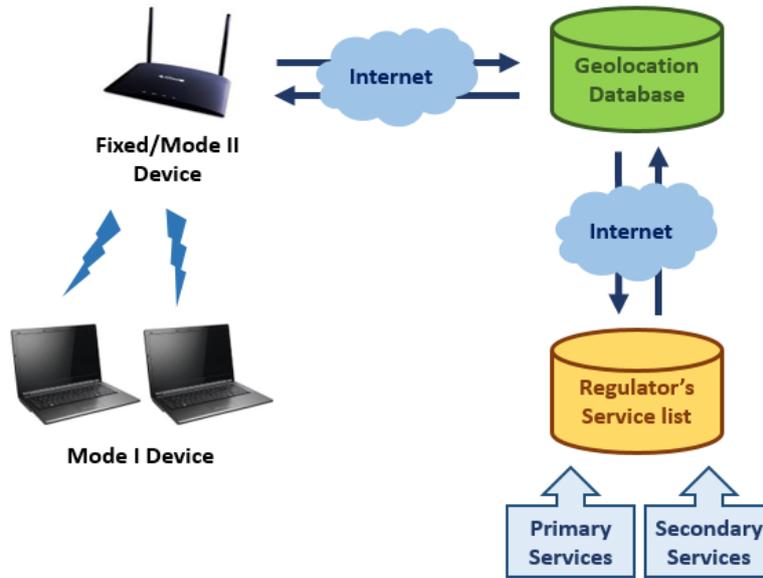


圖 3、TVWS 架構示意圖[1]

表 1、TVWS 設備基本規範[1]

TVWS 無線裝置	Fixed (主控/Master)	Portable Mode I (從屬/Slave)	Portable Mode II (主控/Master)
資料庫存取	有	無	有
地理位置定位	選擇性	無	有
功率限制	4W EIRP	100mW EIRP	100mW EIRP
天線	限高	不可拆卸	不可拆卸

### 2.1.2 TVWS 各國標準

目前 TVWS 以於美國、英國、新加坡、菲律賓、非洲等地區發展應用示範場域，以下舉美國、英國、新加坡為例，介紹其 TVWS 的發展歷程與規劃：

- 美國

美國為較早發展 TVWS 的國家，電視廣播的高頻段可以提供較好的傳播特性，而美國的地理幅員遼闊，在全國沒有使用單一數位無線電視

頻道的情況下，容易在不同時間、地區存在電視廣播頻段閒置的情況，大多數地區可供 TVWS 使用的數位無線電視頻道可達連續數十個以上之多，因此一些公司包括 Google、Microsoft、Dell 便要求政府開放無線廣播電視的閒置頻段供無線上網服務，因此美國 FCC (Federal Communication Commission；聯邦通訊委員會)在 2006 年宣布允許低功率設備可以使用 TVWS 頻段，包括 CH2-51(54-698MHz)，亦規定 TVWS 設備需與地理位置資料庫連結。在 2008 年 FCC 發布了第二次 Report and Order 文件，內容允許未經許可執照者可以使用電視廣播未使用的頻段 (unlicensed band)，意即電視廣播具有該頻段的優先使用權，次要使用 (secondary use) 可以以免執照的方式應用於個人或商業用途之無線寬頻通訊設備。在 2009 年 FCC 核發 TVWS 實驗執照，2010 年則正式開放免執照的使用 TVWS 頻段，只要 TVWS 無線裝置能定位地理位置並存取地理位置資料庫即可。FCC 亦授權民間業者建置管理地理位置資料庫，民間業者再自行向使用者收取其存取費用，而 TVWS 之地理位置資料庫須通過 FCC 的認證，以確保技術標準與地理位置資料庫的運作符合標準。

- 英國

英國 Ofcom (Office of Communications；通訊管理局)於 2007 年開放 TVWS 執照競標未果，2009 年開放 TVWS 頻段可以免執照的方式供具備感知無線電(Cognitive Radio)之無線設備使用，但部分頻段在歐洲地區已有寬頻通訊的使用，因此必須和歐洲各國協調各地區 TVWS 的可使用頻段。2012 年 Ofcom 制定了 TVWS 技術框架及 TVWS 頻段 CH21-31(470-558MHz)和 CH39-60(614-790MHz)，此規範確保了 TVWS 無線設備不會干擾數位無線電視和無線麥克風等現有授權用戶的頻譜。2013 年 Ofcom 提出了 TVWS 技術試點計畫(White Spaces Pilot)，測試無線裝置之終端設備及地理位置資料庫是否與 Ofcom 之間有連結的運作，並掌握數位無線

電視及 PMSE(Programme Making and Special Events)用戶被 TVWS 無線設備干擾的程度。

- 新加坡

新加坡與馬來西亞、印尼為鄰且地理區域較小，其無線電視頻道是和馬來西亞、印尼共用，新加坡將馬來西亞或印尼之無線電視頻道開放給新加坡境內 TVWS 使用，而非用於新加坡境內之無線電視，因此新加坡境內約有十個連續頻道可以供 TVWS 設備使用。新加坡於 2009 年開始進行 TVWS 相關研究，2011 年成立小組以試驗 TVWS 應用及服務，2012 年新加坡政府、Microsoft 及 StarHub(星河電信)聯合成立了 SWSPG(Singapore White Space Pilot Group；新加坡閒置頻譜先導團隊)，這個產業協會主要是在進行 TVWS 的試點應用。2013 年新加坡 IDA(Infocomm Development Authority of Singapore；資訊通信發展局)推動 TVWS 設備和 TVWS 頻段內受保護服務(protected services)間的共存作法，如保護標準的制定、地理位置資料庫的開發等，IDA 於 2014 年正式公告了 TVWS 法規架構與技術規範決策文件。2015 年 SWSPG 在 TVWS 頻段內建置 Wi-Fi 熱點，應用地點設置在濱海灣花園(Gardens by the Bay)，提供遊客穩定可靠的無線上網服務。新加坡規劃在 2020 年關閉所有的類比廣播電視訊號(analogue switch-off；ASO)。

## 2.2 DVB-T 系統

### 2.2.1 DVB-T 系統介紹

台灣在 2012 年 6 月無線電視節目全面數位化，以數位取代類比頻道，採用由歐洲廣播聯盟(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)所制定的「地面數位電視廣播(Digital Video Broadcasting-Terrestrial, DVB-T)」規格為標準，DVB-T 使用編碼式的正交分頻多工(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing, COFDM)調變方式傳播，優點是能抗反射及多重路徑傳輸的干擾，行動接收的能力較強，且 OFDM 的子載波頻寬非常窄，可以避免多路徑的延遲擴散，加上全區單頻網的特性，解決了不同頻率會相互重疊干擾之問題，同時增加可用的頻譜資源。而歐規新一代數位無線電視傳輸技術標準 DVB-T2 已於 2009 年發表，相較於 DVB-T，DVB-T2 技術在訊號的壓縮能力及傳送的穩定性方面皆較佳，但台灣在使用上並未全面轉換 DVB-T2，因此本研究仍以 DVB-T 的技術標準作討論。

[2]DVB-T 的傳送方式使用 Coded OFDM 技術，首先將節目影像及聲音經過 MPEG-2 壓縮技術，再由 MPEG-2 處理多工傳送，轉為一長串的傳送資料流封包(Transport Stream Packet)。圖 4 為 DVB-T 系統架構圖，分為通道編碼(Channel Coding)、通道解碼(Channel Decoding)，其中通道編碼包括：擾碼器(Scrambler)、外層編碼器(Outer Encoder)、外層交錯器(Outer Interleaver)、內層編碼器 (Inner Encoder)和內層交錯器(Inner Interleaver)等。

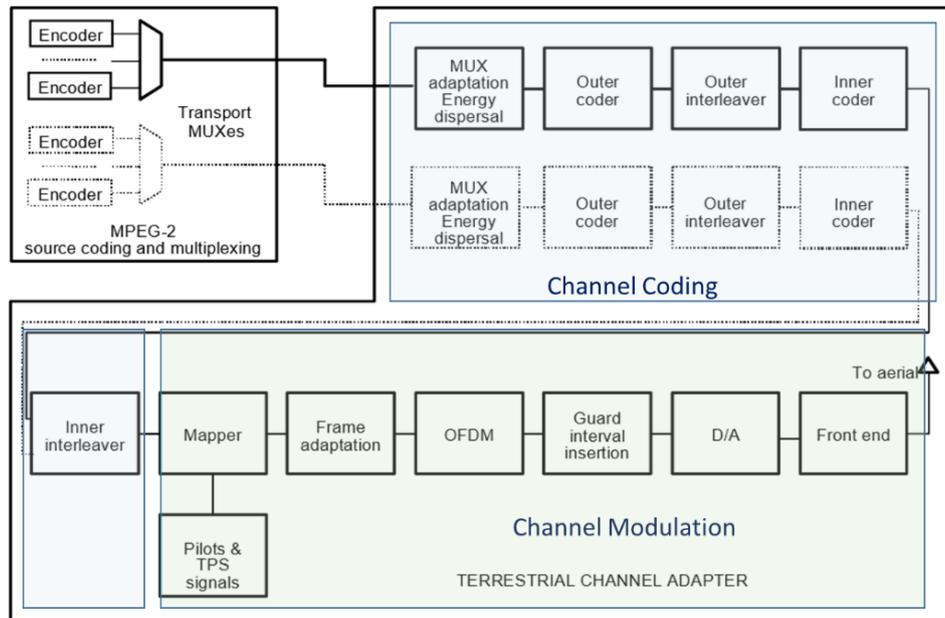


圖 4、DVB-T 系統架構

在通道調變(Modulation)與解調變(Demodulation)部分，目前台灣的調變方式有 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)、16QAM(Quadrature Amplitude Modulation)和 64QAM，調變後的訊號以訊框(frame)為單位做處理，系統使用 OFDM 載波調變的方式，加入保護區間(Guard Interval)後發出訊號，讓資料在規定的頻段範圍內於載波上傳輸，而接收端則透過解調變機制，將調變訊號解回原本的資料。

### 2.2.2 正交分頻多工(OFDM)

正交分頻多工(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM)，其原理是把原本資料的序列分配在不同的子載波上(Sub-Carrier)平行傳送，這樣的分配方式可以使每個子載波的傳輸間隔增加為原本的好幾倍，如圖 5 所示，此間隔配置讓子載波的符元持續時間(Symbol Duration)變長，同時也能降低多重路徑的影響。OFDM 與傳統的分頻多工(Frequency-Division Multiplexing, FDM)差異在於，OFDM 中的每個子載波都有正交性(Orthogonality)，也就是在正交的狀況下，子載波和子載波間不會互相干擾，同時還能互相重疊，因此和傳統的分頻多工相比 OFDM

有較佳的頻寬效率(Bandwidth Efficiency)，如圖 6 所示，在相同的時間可以傳送更多的資料量。

OFDM 的優點在於能夠減少多重路徑所造成的影響，降低接收端的位元錯誤率，在本研究中的實作會遇到許多不同的路徑傳送，因此這樣的效果可以提升整體的傳送品質。透過將頻寬切割成多個子載波，子載波之間相互重疊並且正交，以提高整體的頻寬使用效率，每個子載波可以使用不同的調變方式來進行調變，也可以自行定義 FFT(Fast Fourier Transform；快速傅立葉轉換)長度來規劃要使用的頻譜大小。OFDM 是目前較為主流的通訊傳輸方式，現在的 4G-LTE、數位電視都有使用此技術，讓頻寬的使用率提高、網路速度提升、數據傳輸率提高等，本研究也選用 OFDM 作為訊號傳送之調變方式。

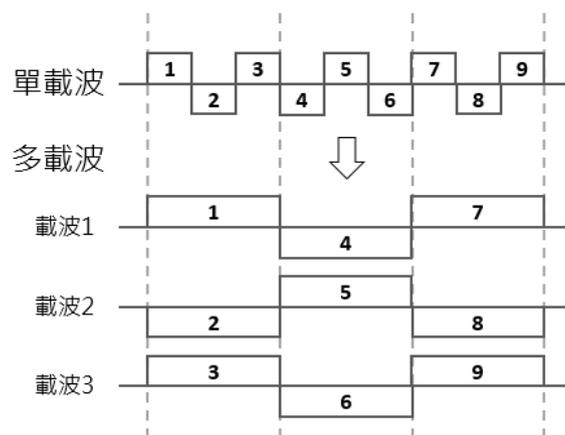


圖 5、OFDM 多載波傳輸示意圖[3]

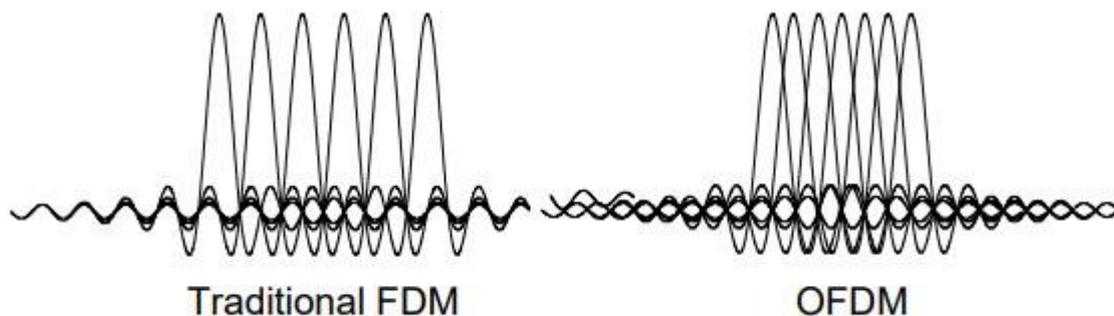


圖 6、傳統 FDM 頻譜與 OFDM 頻譜之比較[3]

DVB-T 的資料傳輸是以訊框為單位，每個訊框具有  $T_s$  的持續時間，並由 68 個 OFDM 符號所組成，而 OFDM 的訊框包含三種導引訊號 (Pilot Signal)：

- Scattered Pilot

分散型導引訊號的位置並不固定，會隨 OFDM 符號在訊框裡的位置而有所不同，位置變化是有週期性的，在時間軸或 OFDM 符號方向的週期為 4，在頻率軸或子載波方向的週期為 12，如圖 7 所示：

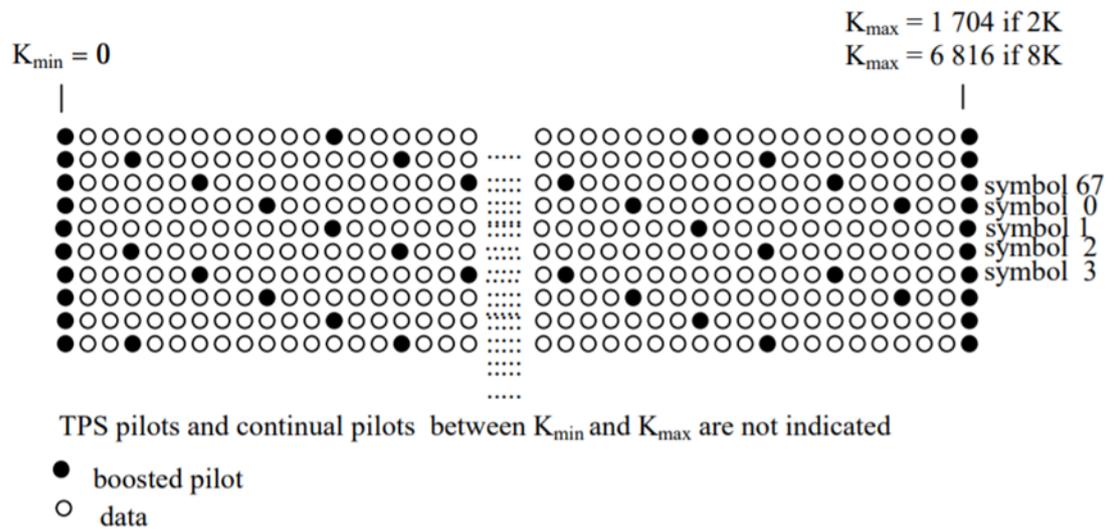


圖 7、OFDM 訊框架構

- Continual Pilot

連續型導引訊號在各個 OFDM 符號中都有一個連續導引，可以用於同步和預估相位誤差，連續導引指的是每一個符號的傳輸位置不會改變，且傳送個每一個符號，不會隨時間而改變其位置及訊號。

- Transmission Parameter Signaling Pilot Signal (TPS pilot signal)

傳輸參數導引訊號的目的是用來傳送同步訊號，以及一些和傳輸相關的參數設定，如表 2 所示，DVB-T 系統相關參數的設定有通道頻寬、傳輸模式、調變方式、編碼速率、保護區間等。

表 2、DVB-T 系統架構相關參數設定

Parameter	DVB-T	台灣
Channel Bandwidth	6MHz, 7MHz, 8MHz	6MHz
Transmission Mode	2K ,8K	8K
Modulation Scheme	QPSK ,16QAM ,64QAM	64QAM
Code Rate	$1/2$ , $2/3$ , $3/4$ , $5/6$ , $7/8$	$2/3$
Guard Interval	$1/4$ , $1/8$ , $1/16$ , $1/32$	$1/4$

DVB-T 具有 2K 和 8K 傳輸模式，8K 模式中每個 OFDM 符號有 8192 個子載波，但實際使用的只有 6817 個子載波，因為頻道兩側的子載波被用來做為保護頻帶(Guard Band)使用，並以持續時間  $T_s$  傳輸。表 3 為 2K 和 8K 傳輸模式中各個導引訊號的子載波數量，以 8K 來說，共有 769 (6817-6048) 個子載波用來傳送導引訊號，其中包括有 524 個分散型導引訊號(Scattered Pilot)，177 個連續型導引訊號(Continual Pilot)，68 個傳輸參數導引訊號(TPS pilot signal)。

表 3、2K 和 8K 傳輸模式中各個導引訊號的子載波數量

Mode	2K	8K
Pilot Signal	193	769
Scattered Pilot	131	524
Continual Pilot	45	177
TPS pilot signal	17	68

### 2.2.3 軟體定義無線電

軟體定義無線電(Software Defined Radio；SDR)[4]最早於 1990 年代由 Mitola 所提出，一開始應用在軍事用途，後來由軍事領域逐漸開放給民間使用，在 2001 年國際電信聯盟(International Telecommunication Union；ITU)的會議上，軟體定義無線電被推薦為發展無線通訊的重要方向之一。軟體定義無線電受廣泛使用的原因是，可以透過軟體取代許多傳統硬體裝置裡的濾波器、功率放大器、解調器等電子元件，且能輕鬆地在軟體介面上調整發射頻率、天線增益值、發射頻寬、訊號調變方式等參數，如此一來使用者不必花費大筆金額購買硬體裝置，就能達到同樣通訊規格和功能的效果，可以省下許多經費。

圖 8 為軟體定義無線電架構圖，軟體定義無線電由前端射頻(RF Front-End)接收元件以及後段運算元件所組成，前端 RF 裝置及外接天線用來接收和發送訊號，透過類比數位轉換器(Analog to Digital Converter；ADC)將類比的連續訊號轉換為數位的離散訊號；數位類比轉換器(Digital to Analog Converter；DAC)將數位的離散訊號轉換為類比的連續訊號；可程式邏輯閘陣列(Field Programmable Gate Array；FPGA)則做通訊數位訊號的處理，利用程式控制射頻、中頻、基頻放大器的功能，增強訊號接收的強度；電腦通用序列匯流排(Universal Serial Bus；USB)接口用來連接硬體裝置及電腦軟體平台，以及結合通用型處理器(General-Purpose Processor；GPP)和 USRP 上的無線電射頻前端。訊號接收後由電腦軟體的運算元件對訊號做後續處理，透過模塊將訊號進行數值運算，最後將運算好的訊號進行發射。使用者也可以依據自身需求，透過軟體定義無線電平台打造客製化的通訊系統。

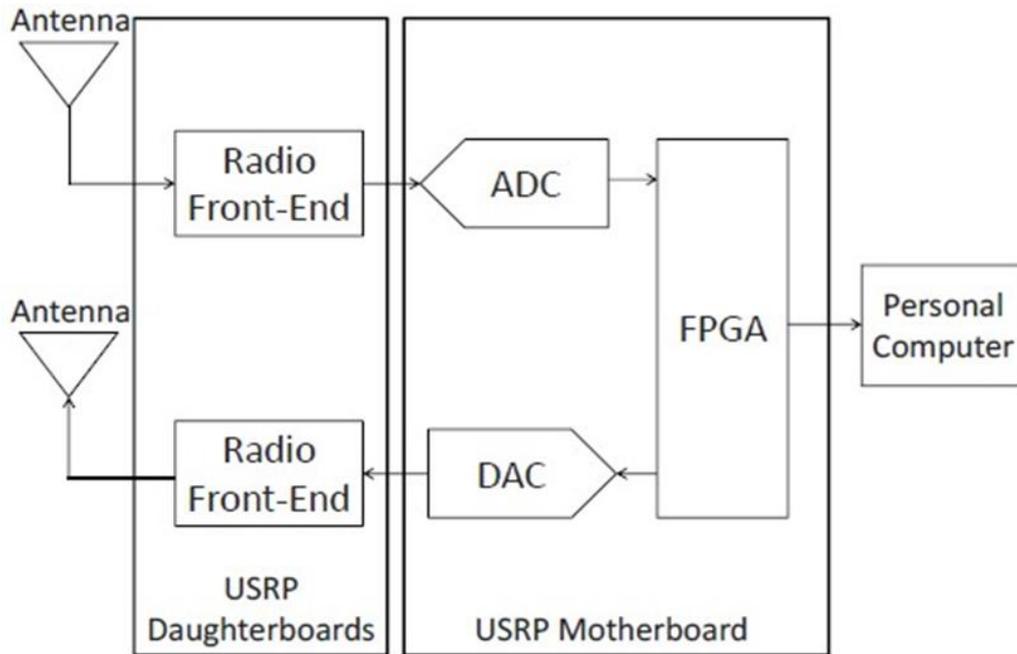


圖 8、軟體定義無線電架構圖[4]

軟體定義無線電在訊號的處理過程是由軟體來代替硬體，軟體開發平台 GNURadio 的免費及開源軟體特性不僅能降低成本，還能使系統的使用或更新上更具彈性。本研究同時對訊號做解調及解碼，其中訊號解碼需要很大的運算量，因此對硬體設備的配置及電腦效能的要求也會提升，而軟體定義無線電技術隨著電腦設備效能的提升也有了很大的進步，不僅可以接收、發射訊號，還可以透過更換訊號處理的模塊，符合各類標準規格，可重置性佳，不需每次都更換硬體設備。

本研究將透過軟體定義無線電建立一個即時廣播電視系統作為實驗的受害者，也就是 TVWS 的主要用戶，於同一台電腦上的 GNURadio 接收即時訊號，同時實作通道解碼與解調變，並呈現解碼後的視頻；於另一台電腦上的 GNURadio 發射無線網路之訊號作為干擾源，也就是 TVWS 的次要用戶。

## 2.3 無線網路相關協定

類比電視的數位化使得許多頻段被閒置，這些未使用的頻段可以在不需要執照的情況下，提供類似 Wi-Fi、藍芽等無線網路裝置使用，被設計用來使用這些可用頻道的裝置即稱為 White Space Device(WSD)，而這些裝置必須遵守相關的無線網路協定，包括 IEEE 802.11af 以及 IEEE 802.22 等，以下將針對這兩個協定作介紹。

### 2.3.1 IEEE 802.11af

IEEE(國際電機電子工程學會)最早在 1997 年訂定了 Wi-Fi 的無線網路規範 802.11 之後，IEEE 802.11 標準持續改善，隨著 Wi-Fi 聯盟(Wi-Fi Alliance)的成立 Wi-Fi 的運用得以蓬勃發展，IEEE 後續推出 802.11ad、802.11aj、802.11ah 與 802.11af 等技術標準，如圖 9 所示，讓 Wi-Fi 運用更加廣泛。

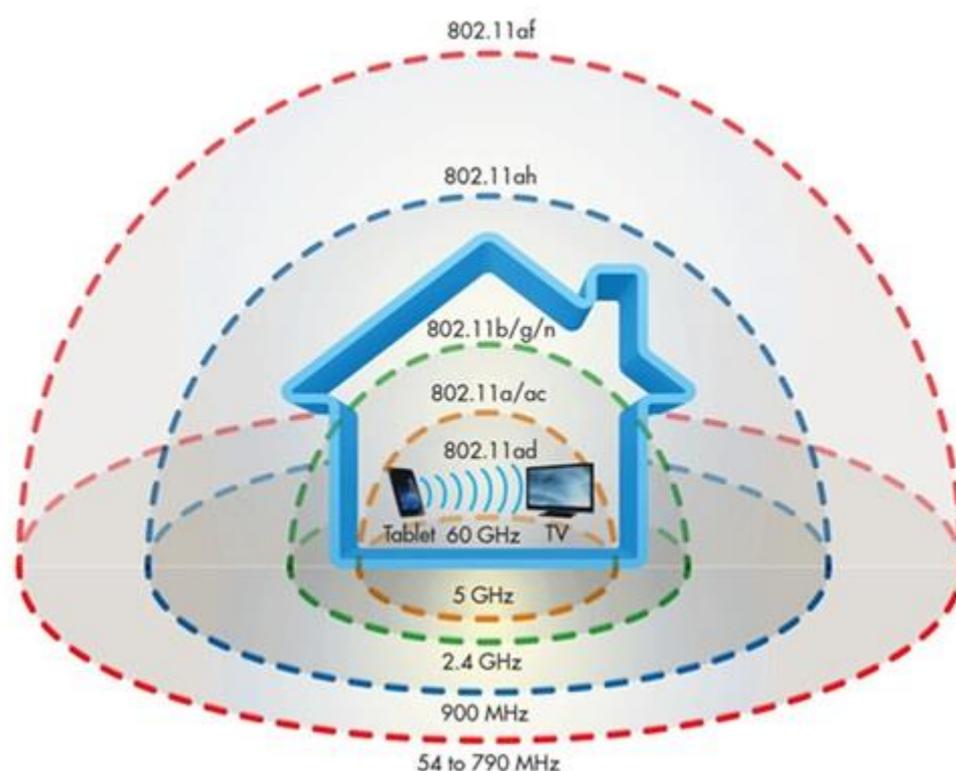


圖 9、IEEE 802.11 技術特性示意圖

IEEE 於 2014 年 2 月核准 IEEE 802.11af 標準制定[5]，也稱為 White-Fi 或 Super Wi-Fi，是 IEEE 802.11 系列的無線網路標準，該標準允許無線區域網路(Wireless Local Area Networks；WLAN)在 TVWS 頻段上使用，包括 VHF (54MHz~216MHz) 以及 UHF(歐洲 470MHz~698MHz；美國 470MHz~790MHz)頻段，IEEE 802.11 在實體層是使用 OFDM 調變技術，頻寬為 6MHz-8MHz，VHF/UHF 頻段的訊號穿透率比原有 Wi-Fi 技術可用頻段的表現更佳，因傳播路徑或物體阻擋所造成的衰減較小，而感知無線電(Cognitive Radio；CR)技術用來自動偵測無線頻譜的可用頻段，地理位置資料庫則用來提供在某時間及地理位置的可用頻道，以防止干擾無線數位電視或低功率的無線麥克風等主要用戶。

### **2.3.2 IEEE 802.22**

IEEE 於 2011 年 7 月發布 IEEE 802.22 標準[6]，全名為 Standard for Wireless Regional Area Networks (WRAN) - Specific requirements - Part 22：Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications：Policies and procedures for operation in the TV Bands，該標準允許無線區域網路(Wireless regional area network；WRAN)在 TVWS 頻段上使用，包括 54MHz 到 862MHz 之間的 VHF/UHF 頻段，IEEE 802.22 在實體層是使用 OFDM 調變技術，頻寬為 6MHz-8MHz；在資料連結層則使用感知無線電技術來自動偵測無線頻譜的可用頻段，地理位置資料庫可以提供在某時間及地理位置的可用頻道，以不干擾原有用戶的原則下，使用無線電視廣播頻段，在鄉下農村或面積大但人口密度低的郊區提供無線網路服務，以擴大頻譜的應用範圍。

### 2.3.3 IEEE 802.11af 與 IEEE 802.22 之比較

IEEE 802.11af 與 IEEE 802.22 標準皆是針對 TVWS 裝置的規範，由以上介紹可以看出有許多相似之處，本研究整理出兩個標準的比較，如表 4 所示，IEEE 802.11af 的傳輸距離為一公里以下，較 IEEE 802.22 的一百公里來的短。

表 4、IEEE 802.11af 與 IEEE 802.22 標準之比較

技術標準	IEEE 802.11af	IEEE 802.22
頻段範圍	54MHz-698MHz(歐洲) 54MHz-790MHz(美國)	54MHz-862MHz
頻寬	6,7 或 8MHz	6,7 或 8MHz
傳輸速率	26.7- 35.6 Mbps	4.54-22.69Mbps
無線網路	WLAN	WRAN
距離	1km 以下	100km 以下
調變技術	OFDM	OFDM
感知無線電	有	有
地理位置資料庫	有	有

### 2.4 DVB-T 頻段干擾之相關文獻

研究[7]提到當無線電視數位化以後，其釋放的頻譜是非常有價值的，稱為數位紅利(Digital Dividend)，這些寶貴的頻譜位於 200 MHz 至 1 GHz 之間，可以提供任何其他無線的潛在應用。DVB-T 是印尼固定數位地面廣播電視(Digital Terrestrial Television Broadcasting；DTTB)的標準，印尼使用 VHF / UHF 頻段用來提供 LTE-E-UTRA 服務，此論文的研究目的為分析 DVB-T 與 E-UTRA 之間須保留的最小保護頻寬與距離。DVB-T 使用 COFDM 解調方式，以 MPEG 傳輸流的形式傳輸壓縮的數位訊號，提供三種不同的調變方式 QPSK、16QAM、64QAM。在印尼的 DVB-T

頻寬為 8 MHz 用於 UHF 頻段。LTE-E-UTRA(Evolved Universal Terrestrial Radio Access)的下鏈是使用 OFDMA，上鏈是使用 SC-FDMA(Single-carrier Frequency-Division Multiple Access，單載波頻分多址)。此研究透過 SEAMCAT 進行同頻與鄰頻干擾分析模擬，分別分析 DVB-T 之下鏈干擾 E-UTRA 之上下鏈，以及 E-UTRA 之上下鏈干擾 DVB-T 之下鏈，最後得出結果為，在同頻的狀況下，兩者之間最小的保護距離為 310 公里；在鄰頻的狀況下，兩者之間最小的保護距離為 9.5 公里。

研究[8]亦提到數位紅利的概念，而數位廣播電視和行動無線網路服務的共存需要解決同頻或鄰頻的干擾問題，此研究分析行動網路 LTE 和數位無線廣播 DVB-T 的共存與干擾，在模擬場景中針對兩個系統設定仿真參數，目的是確定在不同場景下的同頻道干擾其無線鏈路，並限定干擾的系統和發送器操作特性，最後得出兩裝置之間適當的保護距離。LTE 頻寬為 5MHz，實驗模擬了 LTE 行動網路上鏈系統，計算出 QPSK、16QAM、64QAM 調變方式下的訊號雜訊比，並以 Monte Carlo 模擬來評估 LTE 行動網路對受害者 DVB-T 接收器造成的同頻干擾影響，實驗結果顯示隨著兩者相距的距離增加，訊號雜訊比越高，訊號接收時受干擾的程度越小，而大功率發射機可以使訊號得到很好的保護，免受行動網路系統產生的干擾而影響。

研究[7][8]皆是針對同頻干擾與鄰頻干擾提出應保留的最小空間距離，而本研究則是以調整干擾源發射的功率大小來判斷受害者訊號受干擾的程度。研究[9]針對數位地面電視廣播與 TVWS 設備的共存問題進行研究，在存在 IEEE 802.22 WRAN 同頻與鄰頻干擾的情況下，進行測量以評估對現有第二代數位地面電視系統(DVB-T2)服務的保護。此研究透過更改標準參數如星座圖、FFT 大小、保護間隔來找出適當的 DVB-T2 系統配置選項。研究的貢獻是提出了系統保護比率的建議，該比率可用

於評估 TVWS 設備對數位地面電視的潛在影響，並為 TVWS 設備運營商提供指南，以在與 DVB-T2 廣播服務共存的情況下，選擇最適合其需求的參數來優化其網路。

研究[10][11]皆是針對數位地面電視(Digital Terrestrial Television ; DTT)與 4G LTE 系統之間的干擾做分析，探討兩者在 700 MHz 到 800 MHz 頻段上的共存問題。在實驗室進行測量並透過計算保護率(Protection Ratio ; PR)參數來評估干擾的影響，保護率是有用信號(DVB-T)與無用信號(LTE 上行鏈路)之比的最小值，通常在接收機輸入端以分貝表示。研究結果顯示，當 DTT 接收器靠近 LTE 基地台時，在電視天線和 DTT 接收器之間需要一個外部濾波器以降低受干擾的程度。DTT 和 4G LTE 網路在 700 MHz 到 800 MHz 的 UHF 頻段之間可能存在的共存問題，且 LTE 上行鏈路比下行鏈路產生更多的干擾。

### 第三章 研究架構

本章節將介紹本研究會使用到的軟硬體設備、系統架構之設計以及實驗之架構。第一部分將介紹本研究之實驗架構，實驗分為同頻干擾及鄰頻干擾，皆以 USRP B200 mini 接收台灣無線電視之訊號當作受害者，再以 USRP B200 mini 發送無線網路之電波當作干擾源，第二部分將介紹 DVB-T 及無線網路會使用到的電腦硬體規格，以及軟體定義無線電之前端射頻裝置 USRP B200 mini，可以用來接收和發送訊號，第三部分將介紹軟體定義無線電的開發平台 GNURadio，以及 DVB-T 系統之設計，包含其軟體定義無線電的模組設計以及系統的運作流程，最後介紹 DVB-T 及干擾源的參數設定，實驗結果以觀察 FFT、星座圖、解碼後的節目影片，以及音訊遺失數、視訊遺失數及輸入丟棄數的變化，來評估干擾源訊號對 DVB-T 的干擾程度。

#### 3.1 實驗架構

本研究為以軟體定義無線電技術分析數位無線電視頻段之干擾，在數位無線電視方面是使用台灣無線電視的 557MHz 頻段，頻道為 6 的台視節目，當作實驗中 DVB-T 的受害者，而干擾的部分可以分為同頻干擾與鄰頻干擾。

圖 10 為本研究的實驗架構，以 USRP B200 mini 實時接收台灣地區的無線電視訊號後把影片預錄起來，再經過 GNURadio 軟體解調變與解碼，會產生 FFT、星座圖並在 VLC 媒體撥放器上撥放節目影片；而無線網路的干擾源則是以 USRP B200 mini 連接電腦，並透過 GNURadio 設定 OFDM 的參數來發射無線電波，最後透過星座圖、FFT、解碼影片、音訊遺失數、視訊遺失數及輸入丟棄數的變化，來評估訊號強度對 DVB-T 的干擾程度，給予此兩設備需要預留多少保護頻寬的建議。

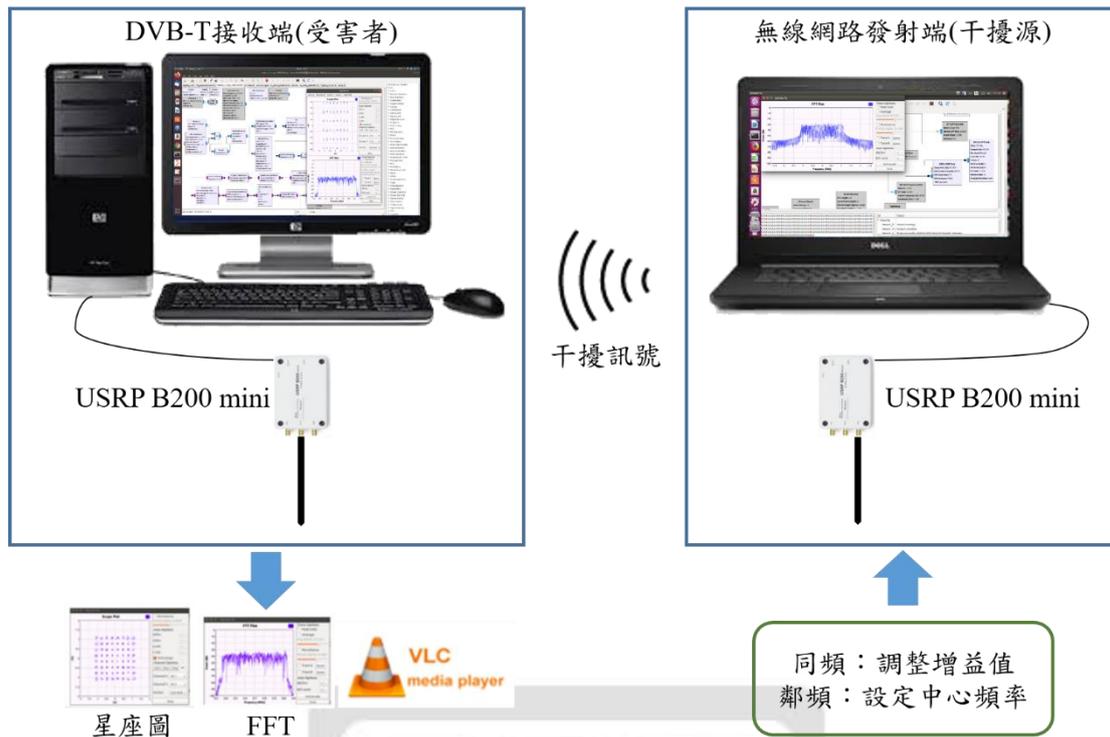


圖 10、實驗架構圖

### 3.1.1 同頻干擾

同頻干擾(Co-Channel Interference；CCI)是指二個以上的無線通訊設備使用相同頻道，但同一個時間只有一個設備能傳送資料，假設有兩個設備使用相同的頻道，如果這兩個設備的距離夠遠，那麼兩個設備都能完整的使用頻道資源(頻寬)，如果這兩個設備靠的距離太近，訊號就會彼此干擾，在傳送資料時也會互相影響，因此在同頻干擾的情形下，要保留適當的空間距離(guard space)，否則會降低效能。

本研究以台灣 DVB-T 作為頻道使用的受害者，固定接收端的頻率為 557MHz、頻道為 6 的民視；並以實驗模擬 TVWS 設備提供的無線網路作為干擾源，固定發射端的頻率為 557MHz，調整干擾源發射的功率大小(gain 值)，功率越大代表干擾源距離受害者越近，以功率代表距離的概念，來判斷在功率超過多少時會對 DVB-T 的訊號產生干擾。

### 3.1.2 鄰頻干擾

鄰頻干擾(Adjacent Channel Interference；ACI)是指二個以上的無線通訊設備，他們使用的頻道雖然不相同，但是因為頻道間沒有足夠的頻帶隔離(channel space)或稱保護頻帶(guard band)，在濾波器不完美的狀況下，於發射之頻寬外產生輻射或頻率，發生混附發射(spurious emission)，會降低無線通訊設備的傳輸效率與使用效能。

本研究以台灣 DVB-T 作為頻道使用的受害者，固定接收端的頻率為 557MHz、頻道為 6 的民視；並以實驗模擬 TVWS 設備提供的無線網路作為干擾源，以實驗調整發射端的中心頻率(center frequency)，觀察發射端與接收端兩個訊號在不同頻譜距離對接收端的影響，由干擾源的中心頻率和受害者的中心頻率計算出實驗的頻譜位移(frequency offset)，如公式(1)所示。 $F_{offset}$  是代表頻譜位移影響到頻譜交疊的比例， $F_{rx}$  為接收端發射的中心頻率， $F_i$  為干擾源的中心頻率。以 DVB-T 的受干擾程度來計算在需要預留多少的保護頻寬，才不會對無線電視的訊號造成影響。

$$F_{offset} = |F_{rx} - F_i| \quad (1)$$

本研究固定 DVB-T 接收端的頻率為 557MHz，調整干擾源的中心頻率從 551MHz 到 563MHz，圖 11 為頻譜位移與頻譜交疊的情形，藍色部分為 DVB-T 而橘色部分為干擾源的頻寬，且兩者的頻寬皆為 6MHz。以干擾源的中心頻率為 551MHz 為例，與接收端中心頻率 557MHz 的頻譜位移為 6MHz，此時沒有頻譜交疊的情況。為了驗證相同的頻譜位移是否會對 DVB-T 產生干擾，本實驗設計以 557MHz 為基準兩側相同的頻譜位移，分別為 1MHz 到 6MHz。

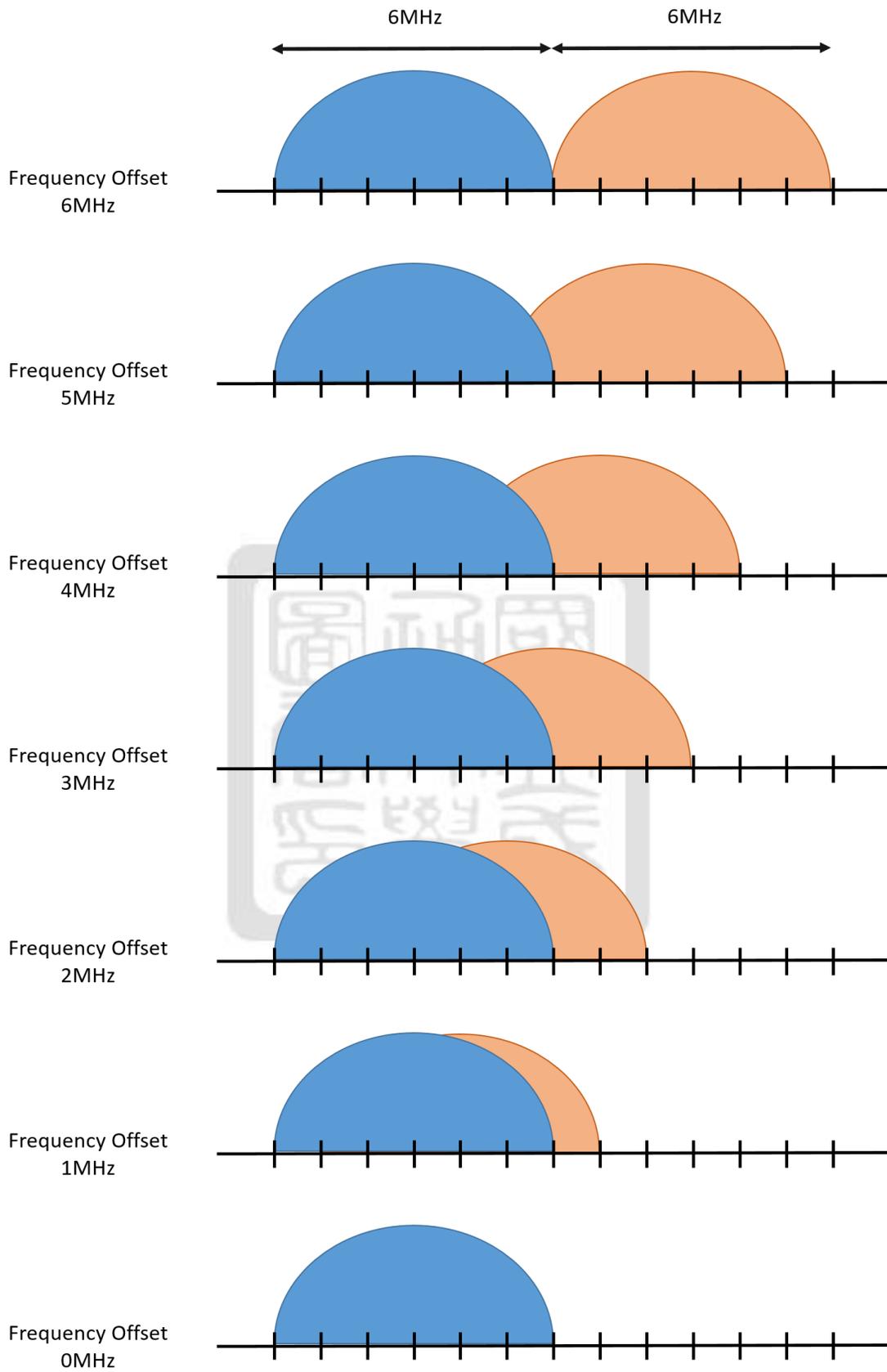


圖 11、頻譜位移

## 3.2 硬體裝置介紹

軟體定義無線電的訊號發射及接收需要透過前端硬體射頻(Radio Frequency ; RF)裝置來支援 GNURadio，裝置接收到訊號數據後交由電腦軟體處理後續的內容，或是先由軟體定義無線電的平台處理訊號後，再經由射頻裝置發射訊號。本研究使用的前端射頻裝置為 Ettus Research 公司開發的 USRP B200 mini。

### 3.2.1 USRP 技術規格

USRP (Universal Software Radio Peripheral) 為通用軟體無線電週邊設備，USRP B200 mini[14]的基本規格如表 5 所示，裝置外觀如圖 12 所示，USRP B200 mini 不需要外接電源供電，主要透過電腦 USB3.0 接孔來供電，並傳輸數據訊號到軟體定義無線電的平台做訊號的處理和控制。搭配不同頻率的天線，頻率範圍可從低頻的 70MHz 到高频的 6GHz，並能同時接收(Rx)及發送(Tx)資料。在使用上首先先在 GNURadio 中下指令安裝 USRP 的 UHD(Ultra High Definition)模組，便能開始使用 USRP 作為軟體定義無線電之前端射頻裝置，只要點擊 USRP 模組方便快捷能調整發射頻框、發射頻率等參數，是一個容易上手使用的裝置。

圖 13 為裝置的內部原理結構圖，使用射頻前端集成電路設計，FPGA 提供類比或數位訊號的轉換處理，並將訊號轉換為同相(in phase, I)與正交分量(quadrature components, Q)的基頻訊號。利用 USRP 接收射頻前端的 I/Q 數據，再將收到的 I/Q 數據透過 GNURadio 進行通道解碼及解調變訊號。

表 5、USRP B200 mini 規格

發送/接收頻率範圍	70MHz-6GHz
頻寬	最高可達 56MHz
電腦連結接口	USB3.0
支援模式	Full Duplex(一個接收一個發送)
最大取樣率	61.44MSample/second(MS/s)
取樣解析度(ADC/DAC)	12 bits
售價	新台幣 27,100 元



圖 12、USRP B200 mini[14]

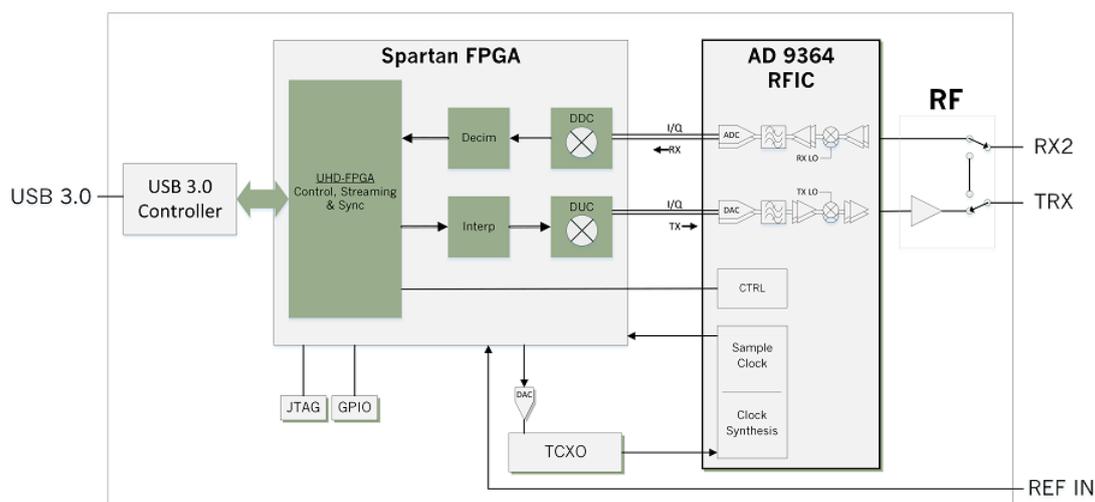


圖 13、USRP B200mini 原理架構[14]

### 3.2.2 電腦規格

由於 USRP 設備必須搭配一台電腦進行資料處理，根據過去的研究顯示接收端的解碼器需要耗費相當大的計算能力，而計算能力會影響收訊、解調與解碼的功能，因此對電腦的硬體規格有一定的要求，核心數與處理器頻率越多代表處理數據的速度越快。DVB-T 及接收端是在桌上型電腦上運行，而干擾源的發射是在筆記型電腦上運行，表 6 及表 7 為本實驗所使用的兩台電腦設備規格。

表 6、接收端的電腦規格

晶片組	Gigabyte H370N WIFI
中央處理器	Intel® Core™ i7-9700 3.00GHz
記憶體	16GB
硬碟	1TB
USB	USB 3.0
作業系統版本	Ubuntu 18.04.4 LTS
GNURadio 版本	3.7.13.4

表 7、發射端的電腦規格

晶片組	ASUS X550CL
中央處理器	Intel® Pentium® 2117U 1.80GHz
記憶體	4GB
硬碟	500GB
USB	USB 3.0
作業系統版本	Ubuntu 16.04.5 LTS
GNURadio 版本	3.7.11

### 3.3 軟體架構

軟體定義無線電技術有許多的開發平台，有些平台需綁定特定的前端裝置才可以使用；有些平台則是需要付費的，且不少的功能介面都被開發者給鎖定住，使用者較無法彈性地在平台上開發符合自身需求的應用。因此，本研究選擇在 Linux 作業系統下的軟體定義無線電開發平台 GNU Radio 作為本研究的軟體平台。

#### 3.3.1 GNU Radio

GNURadio[12]是一個軟體定義無線電的開發平台，這個免費且開源的軟體可以在 Windows、Mac OS、Linux 等不同的作業系統上使用，將此開發平台與外部射頻裝置連接後，透過軟體內的模塊提供訊號的接收、處理及傳輸，利用流程圖的概念連結一系列訊號處理的模塊後，GNURadio 會直接生成該流程圖對應的 Python 檔，直接執行流程圖程式檔或在下圖 14 的 GNURadio Companion(GRC)平台上運作，便可以實現軟體定義的無線電和訊號處理系統。

圖 15 為 GNURadio 的架構圖，最下層為 RF 硬體進行訊號接收的部分，USB interface 為軟硬體的交界，該層以上為透過軟體進行訊號處理及解碼的部分，GNURadio 的模塊都是由個別的 C++程式所建立的，透過 C++的程式運算主要是可以降低硬體負荷，而每個模塊有各自不同且獨立的功能，表 8 為 GNURadio Block 的類型，使用者也可以藉由撰寫 C++程式碼來開發符合自己需求的圖形方塊，在使用上更具彈性及靈活性。這些模塊仰賴 Python 來控制流程圖的開始、暫停或結束，而 C++和 Python 之間是由 SWIG(Simplified Wrapper and Interface Generator)來連接。架構圖的最上方為圖形化介面的 GNURadio Companion(GRC)，有別於傳統程式開發環境中一行行的程式碼，GNURadio 的開發介面運用方塊來代表訊號處理的過程，使用者只需要具備訊號處理流程的基本概念，點擊兩下

方塊來調整參數，再透過箭頭將圖 14 右方需用到之訊號處理方塊如濾波器、調變方式.....等拉到左方並連接起來，就能實現軟體定義無線電的開發，這種不必寫一行程式碼的方式，對使用者來說非常地友善且直覺。

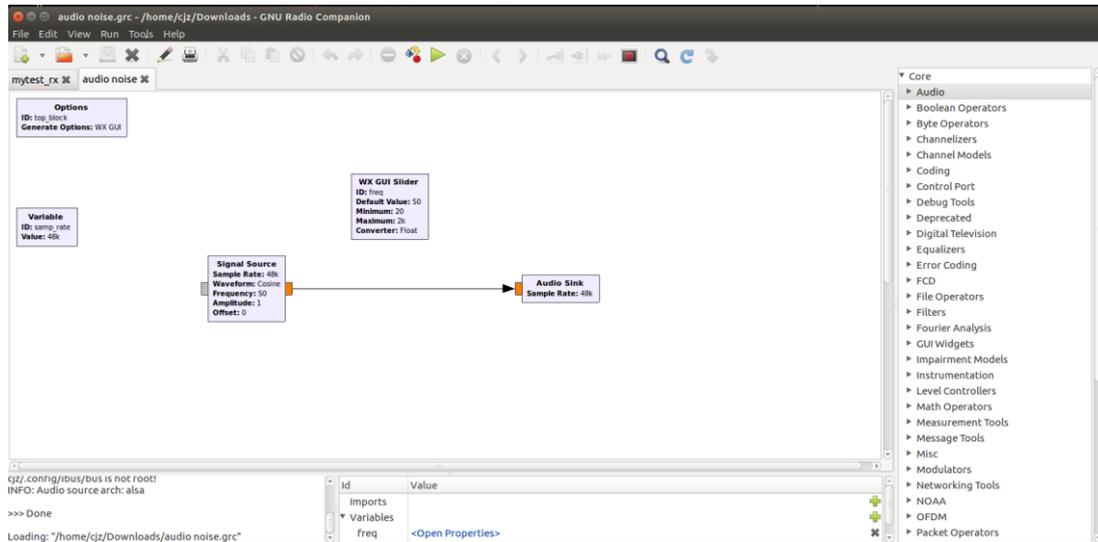


圖 14、GNURadio Companion(GRC)

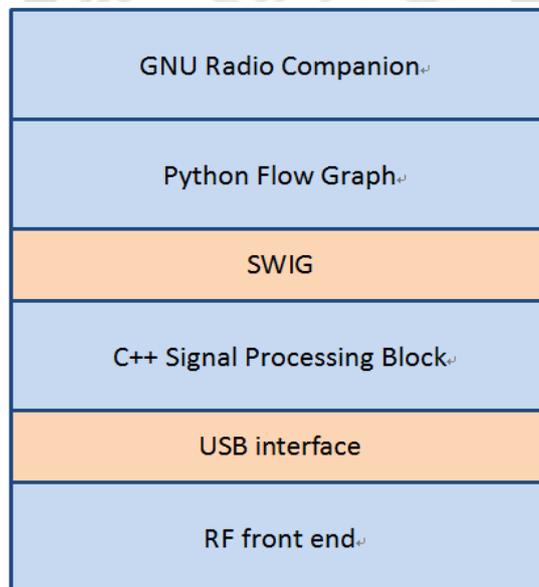


圖 15、GNURadio 架構圖

表 8、GNURadio Block 類型[13]

類型	敘述	例子
來源輸入	以不同的方式取得資料或訊號	USRP Source、File Source、Audio Source
訊號分析	觀察訊號處理前和處理後的結果	FFT Sink、QT Constellations
濾波器	各種訊號的濾波器	Highpass Filter、Lowpass Filter、Bandpass Filter、FFT Filter
調變	提供多種調變的技術	AM、FM、PSK、FSK
轉換器	資料格式的轉換或是取樣率的轉換	Complex to Float、Rational Resampler
訊號輸出	某些特殊功能的方塊	USRP Sink、File Sink、Audio Sink
其他	將資料傳送至其他裝置或用不同的方式輸出及存取	FFT(快速傅立葉轉換)、Throttle、Threshold

### 3.3.2 DVB-T 系統設計

DVB-T 的訊號是利用正交分頻多工(OFDM)方式做訊號傳送，在 GNURadio 上執行時必須確認 DVB-T 系統架構的相關參數設定，本研究會同時做數位訊號作解調變以及解碼，並使用 RF 接收器 USRP B200 mini 來做實驗，USRP B200 mini 可以同時做接收及發送，在頻率範圍、頻寬及最大取樣率的部分表現佳，因此本研究選擇使用此裝置。

本研究主要以接收地面數位電視訊號為主，在硬體設備 RF 前端接收訊號後，透過 GNURadio 軟體進行訊號的處理，使用 Linux 作業系統進行

實作，使訊號以星座圖、FFT 圖的方式呈現並同時透過 VLC 媒體播放器即時地播放影像，過程中可以選定頻率、頻寬及訊號強度。星座圖、FFT 圖、VLC 媒體播放器知詳細介紹如下：

- 星座圖(Constellation)：將數位訊號做 QPSK 或 16QAM 等調變方式解調後，在複平面(complex plane)上以強度與相位表示，若解出的訊號非常清楚，會在星座圖上坐落於相對的點，反之則會散成一片。
- FFT 頻譜圖(Fast Fourier Transform Plot)：頻譜圖是電波監測最常使用且直觀的工具，圖中橫軸為頻率(Frequency)，單位是 kHz；縱軸為訊號強度(Power)，單位是 dB。透過 FFT 圖可以動態地觀察收到的訊號強度、頻率範圍及占用的頻寬，以及附近是否有訊號或雜訊。
- VLC 媒體播放器：最初名為 VideoLAN Client，是開放原始碼的多媒體播放器、解碼器與串流伺服器，支援許多音訊與視訊解碼器及檔案格式，再本研究中做為解碼器與播放器使用。

### 3.3.3 接收端模組設計

本研究使用 GNURadio 作為軟體定義無線電的軟體平台，實時接收台灣地區 DVB-T 的訊號，實作此接收器除了 GNURadio 內原有的模組外，還有從[17] GitHub (開源代碼平台)取得的相關模組，此 DVB-T 模組的連接設計會跟隨 DVB-T 標準[18]，以下是本研究中 DVB-T 訊號接收所需的模組，圖 16 為通道解調變(channel demodulation)，圖 17 為通道解碼(channel decoding)。本研究將會配合台灣的數位電視廣播所制定的標準，並說明此 DVB-T 模組的參數應該如何設定，最後實作出在實際應用上，可以接收台灣地區電視電波基地台所發出的數位電視訊號。

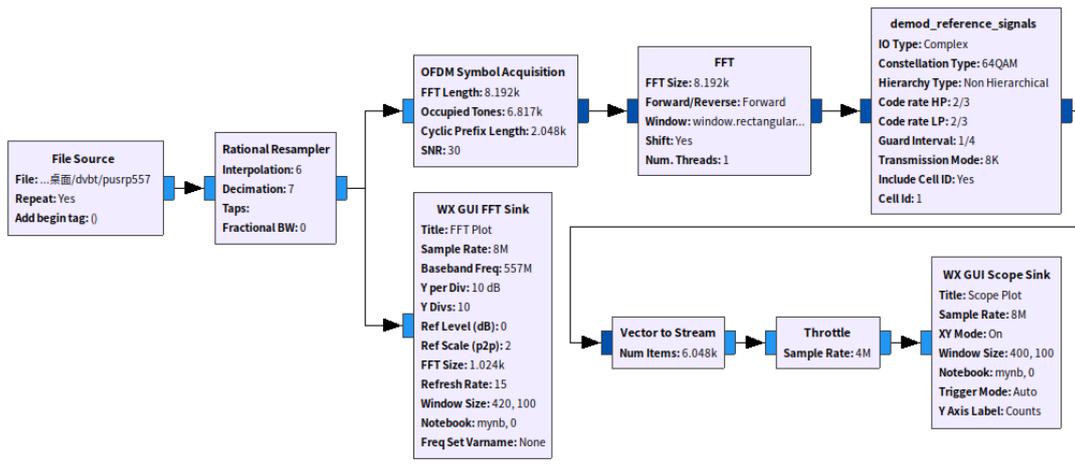


圖 16、通道解調變

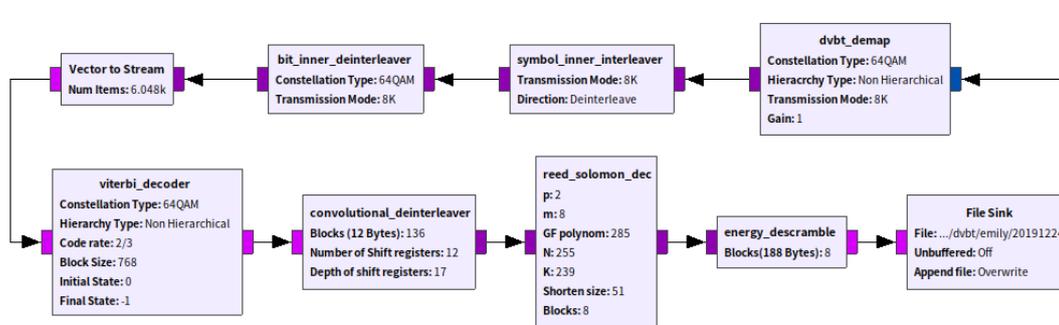


圖 17、通道解碼

本實驗的 DVB-T 是以預錄檔(file source)為受害對象，為了讓接收端可以在解調預錄檔的同時接收干擾源，我們在 Rational Resampler 前面加了一個加法器(Add)，如圖 18 所示，同時饋進 file source 和 UHD USRP Source，以 USRP B200 mini 接收干擾訊號來對數位電視訊號做干擾，後續再對預錄檔做解調變和解碼的動作。

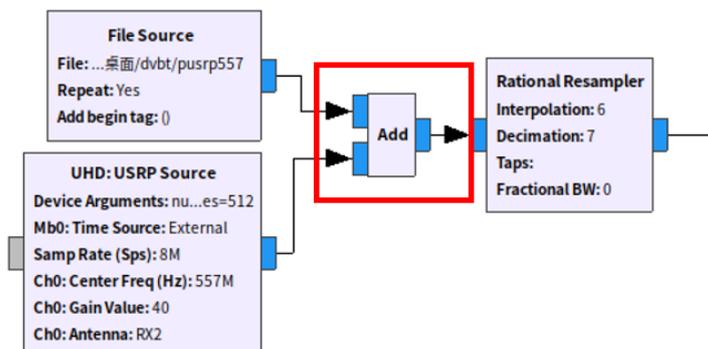


圖 18、加法器

### 3.3.4 DVB-T 系統運作流程

透過修改 GNURadio 的部分 Python 程式語言，來控制無線電視頻道頻率之選擇，圖 19 為系統運作流程圖，Script 是一個為了縮短傳統的編寫、編譯、連結、執行過程而建立的電腦編程語言，首先會以軟體 Script 開啟 Python 檔並執行 Script 程式，來做節目選台的功能控制，這時可以選取欲收看的無線電視節目頻道，再以 Python 檔開啟 GNURadio，設定收看頻道頻率的接收訊號，例如選擇公視 HD 台後，設定頻率 545MHz 接收訊號，同時在 GNURadio 做通道解碼及通道解調變，解出訊號後就可以用 VLC 媒體播放器來開啟影像，並以 FFT 及星座圖來觀察其調變方式、訊號強度、頻率範圍及占用頻寬等。

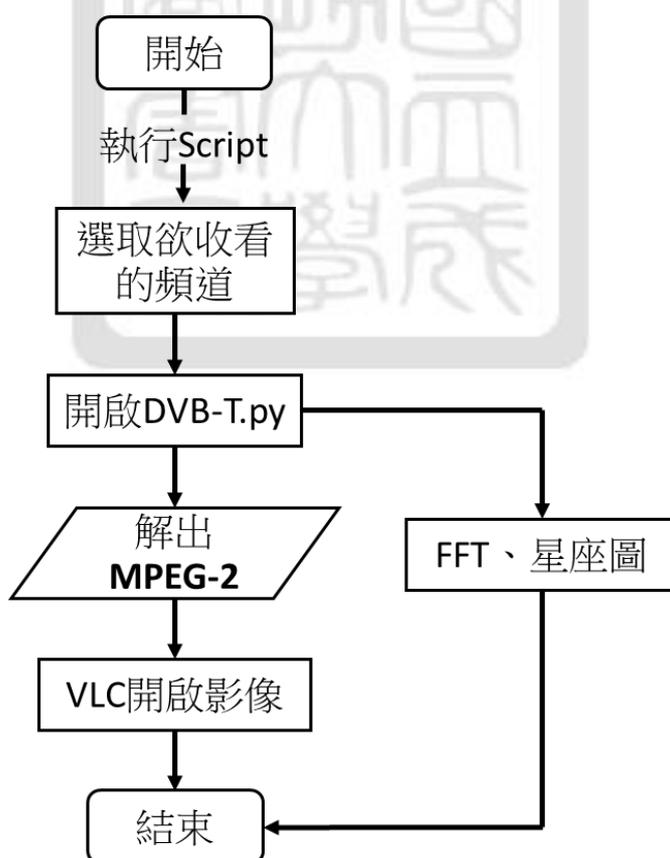


圖 19、系統運作流程圖[16]

### 3.3.5 發射端模組設計

圖 20 為發射端的 GRC 流程圖，發射端的的模組設計是透過 OFDM 調變技術，配合 IEEE 802.11af 標準而設定參數，其中頻寬為 6MHz、Sampling Rate 為 5.33MHz，FFT Size 為 128points。

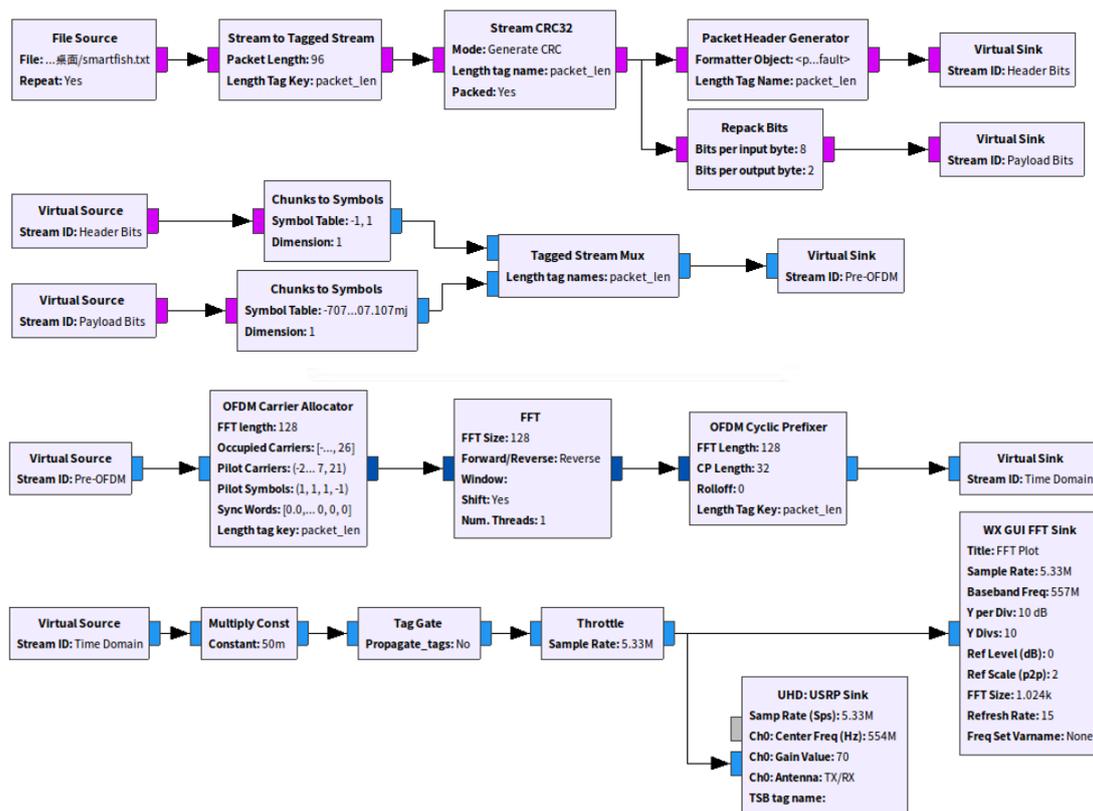


圖 20、發射端的 GRC 流程圖

### 3.3.6 實驗參數

本研究的 DVB-T 參數是依照台灣所訂定的標準做為設定的依據，透過實驗發現若干擾的增益值(gain 值)設為 40dB 以上時，即使沒有干擾源的狀況下節目影片也會受到破壞，因此在接收干擾源的 UHD USRP Source 天線 RF gain 值設為 20dB，表 9 為 GNURadio 中模組的參數設定。干擾源的參數是則是依照 IEEE 802.11af 之標準而定[19]，表 10 為干擾源的參數設定。

表 9、DVB-T 模組參數設定

Center Frequency	557MHz
Channel Bandwidth	6MHz
Sampling Rate	8MHz
Transmission Mode	8K
Guard Interval	1/4
Modulation Scheme	64QAM
Code Rate	2/3

表 10、干擾源參數設定

Center Frequency	同頻：557MHz 鄰頻：551MHz~563MHz
Channel Bandwidth	6MHz
Sampling Rate	5.33MHz
FFT Size	128points
Multiplexing	OFDM
Tx gain	同頻：58dB~71dB 鄰頻：70dB

## 第四章 研究結果

本章節依據 3.1 節的實驗情境來實作，並將結果完整的呈現在此章。圖 21 為同頻干擾實驗實際的佈署情況，接收端天線與發射端天線的距離為 100 公分，而圖 22 為鄰頻干擾實驗實際的佈署情況，接收端天線與發射端天線的距離為 50 公分。

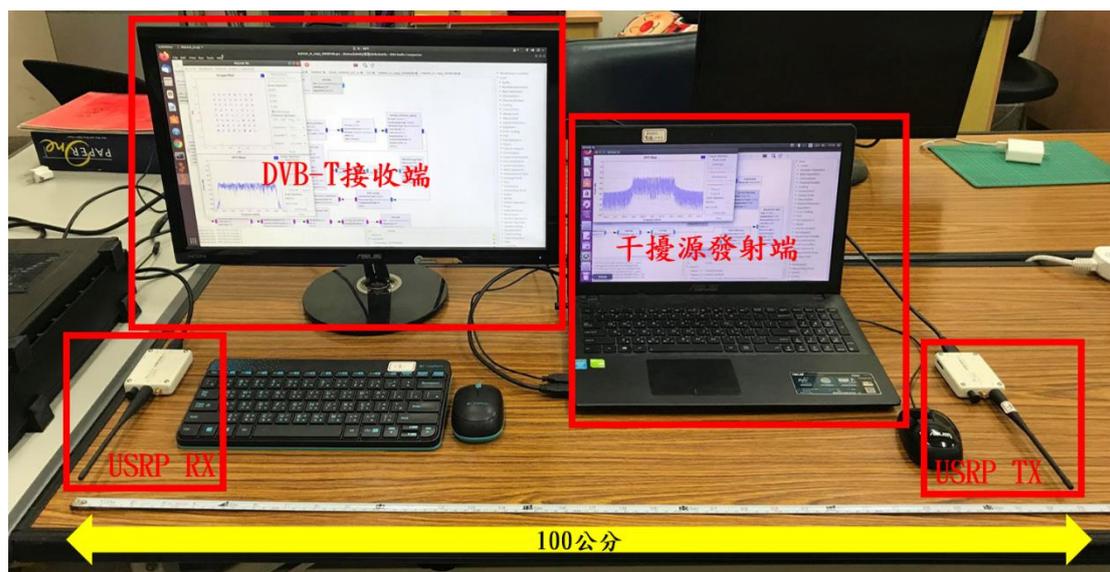


圖 21、同頻干擾實驗佈署情況



圖 22、鄰頻干擾實驗佈署情況

其中，接收端是以桌上型電腦來操作，以 mytest\_rx.grc 來接收干擾源訊號並解調預錄檔，如圖 23 所示。而干擾源的部分則是以筆記型電腦來操作，以 tx\_ofdm.grc 來發射符合 IEEE 802.11af 標準的訊號，如圖 24 所示。

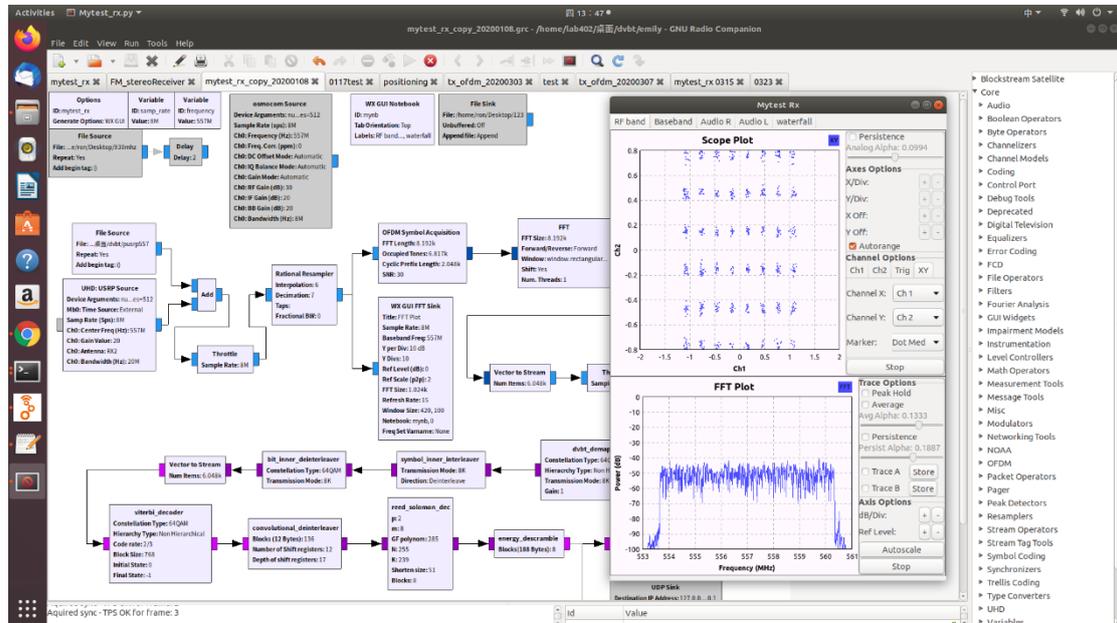


圖 23、mytest\_rx.grc 的執行畫面

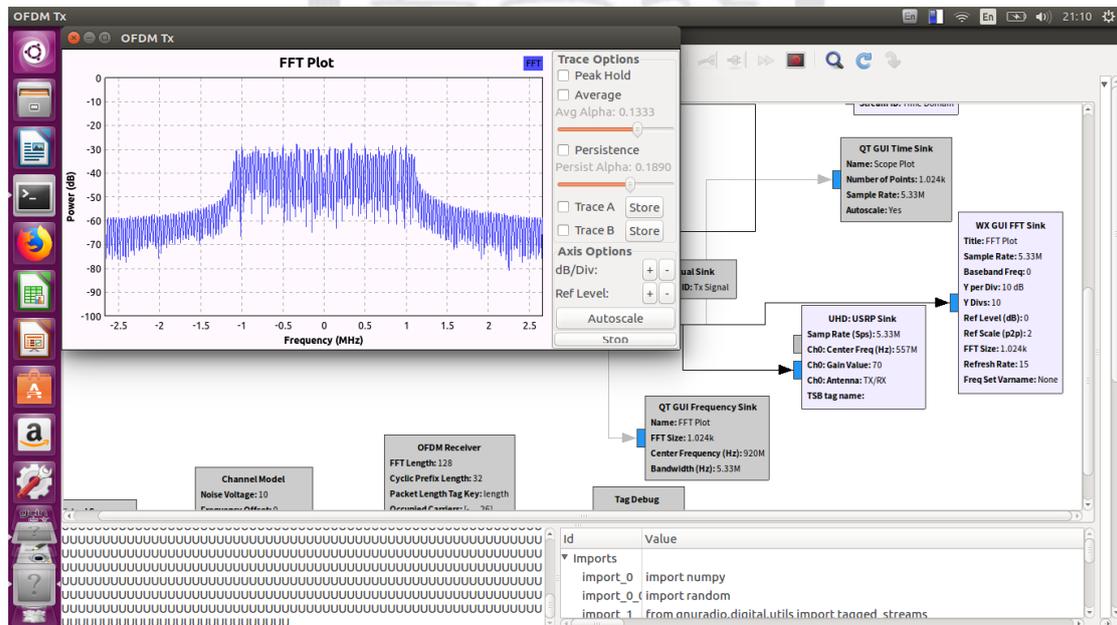


圖 24、tx\_ofdm.grc 的執行畫面

## 4.1 星座圖及 FFT 觀察

本研究透過觀察星座圖與 FFT 頻譜圖來判斷 DVB-T 是否有被干擾及破壞，星座圖與 FFT 頻譜圖是 GNURadio 內所產生出來的。在星座圖部分因為選擇 64QAM 的調變方式，因此在圖中會有 64 個聚集的點，圖 25 上面的 scope plot 為 64QAM 的星座圖，在沒有被干擾或是干擾訊號強度較小時，可以看到清楚的 64 個點，而圖 25 下方的 FFT plot 則是頻譜圖，透過頻譜圖可以觀察到訊號的強度、頻率範圍等資訊。

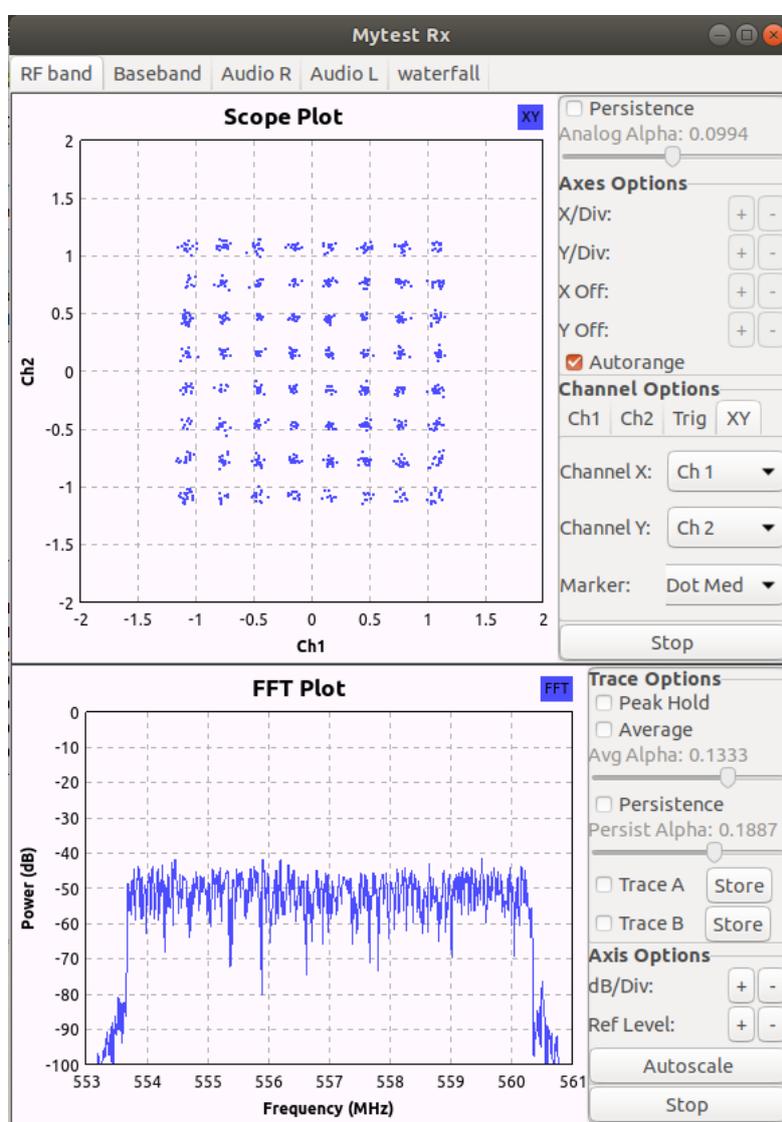


圖 25、無干擾時的 64QAM 星座圖與 FFT 頻譜圖

圖 26 則是接收端在有干擾源時的 64QAM 星座圖及 FFT 頻譜圖，可以看到星座圖的點已經被打散，看不出聚集的 64 個點，而 FFT 圖與無干擾時的狀況差不多。

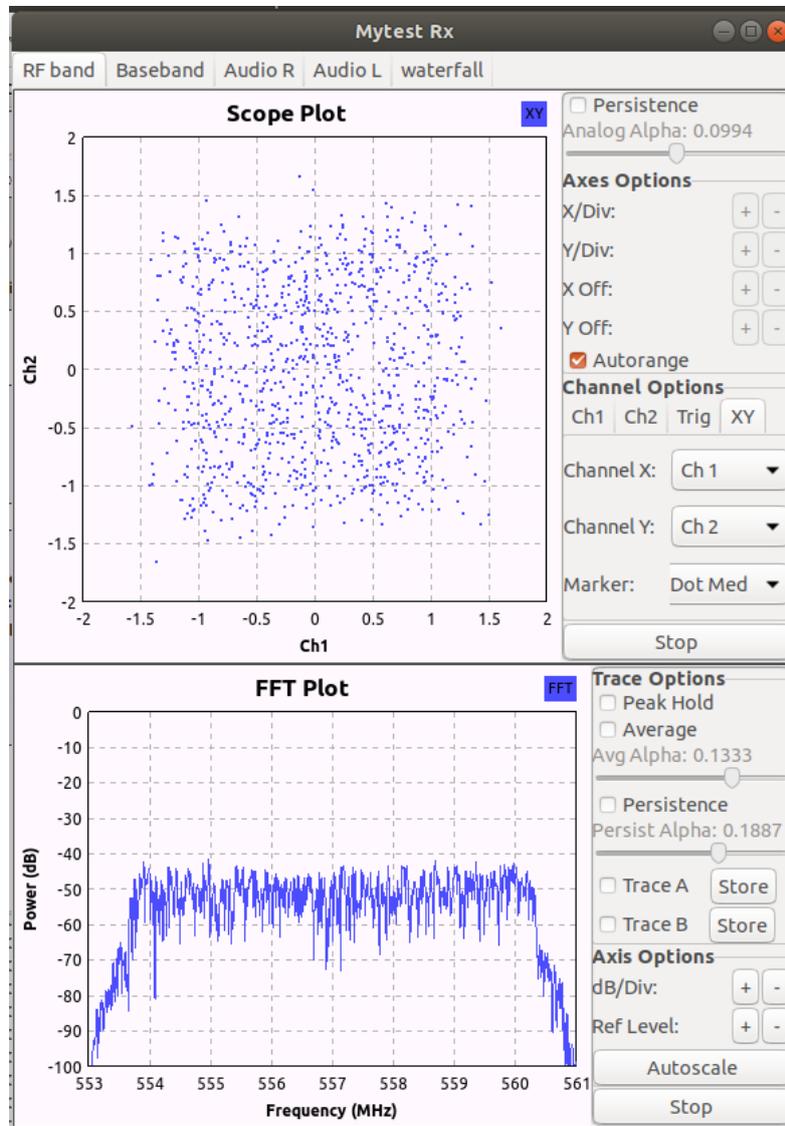


圖 26、有干擾時的 64QAM 星座圖與 FFT 頻譜圖

## 4.2 影片清晰度觀察

本實驗透過觀察解調變預錄檔後的影片來判斷是否有被干擾，並統一頻道為民視的幸福來了娘家大紅麩、第 30 秒時的畫面，以下為同頻干擾和鄰頻干擾的實驗結果。

## 4.2.1 同頻干擾

固定干擾源為 557MHz，調整發射端的 gain 值為 60、63、66、69、72、75dB，並用頻譜儀驗證過發射訊號的中心頻率及頻寬是否正確；固定接收端的頻率為 557MHz、gain 值為 20dB。解調完後在 VLC 媒體撥放器上觀看節目影片，由於節目影片中每秒的清晰程度皆不同，圖 27 便擷取了干擾源在不同中心頻率時節目影片第 30 秒的畫面，從結果可以看出干擾源的功率越大，影片畫面的破壞程度越大，從 66dB 開始節目影片的畫面逐漸不清晰。



圖 27、干擾源在不同中心頻率時其節目影片畫面

## 4.2.2 鄰頻干擾

固定發射端的 gain 值為 70dB，調整干擾源的中心頻率從 551MHz 到 563MHz，並用頻譜儀驗證過發射的中心頻率及頻寬是否正確；固定接收端的頻率為 557MHz、gain 值為 20dB。解調完後在 VLC 媒體撥放器上觀看節目影片，由於節目影片中每秒的清晰程度皆不同，圖 28 便擷取了干擾源在不同 gain 值時節目影片第 30 秒的畫面，從結果可以看出干擾源的中心頻率距離 DVB-T 的頻率越近，也就是頻譜位移越小時，影片畫面的破壞程度越大。





圖 28、干擾源在不同 gain 值時其節目影片畫面

### 4.3 實驗數據

#### 4.3.1 同頻干擾

在實驗中透過調整干擾源天線發射的增益值(gain 值)來改變干擾訊號的強度，圖 29 為天線增益和干擾訊號強度的變化圖，從圖中可以看出實驗的發射干擾的天線增益與訊號強度呈現了正比關係，gain 值越大其發射的訊號強度越強。

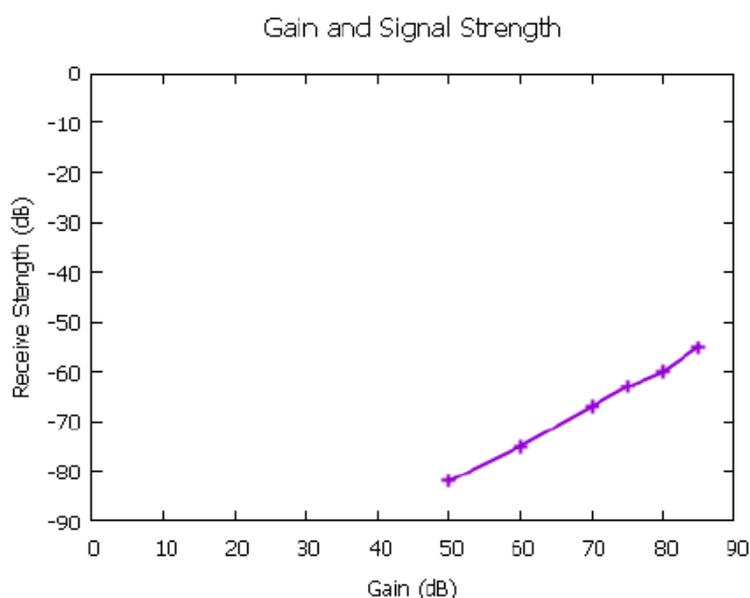


圖 29、干擾的強度與增益之關係

為了取得預錄檔與干擾源的功率大小，使用頻譜儀 Agilent N9340B 在距離發射端天線平行 100 公分的位置測量訊號的中心頻率及功率值，圖 30 為測量預錄檔頻譜時的實驗設置，以 DVB-T 預錄檔發射中心頻率為 557MHz、gain 值為 72dB 的訊號，頻譜儀接收端測量到的通道功率(channel power)為-58.83dBm，如圖 32 的(a)所示；同樣地，圖 31 為測量干擾源頻譜時的實驗設置，發射中心頻率為 557MHz、gain 值為 72dB 的訊號，頻譜儀接收端測量到的通道功率為-66.77dBm，如圖 32 的(b)所示。

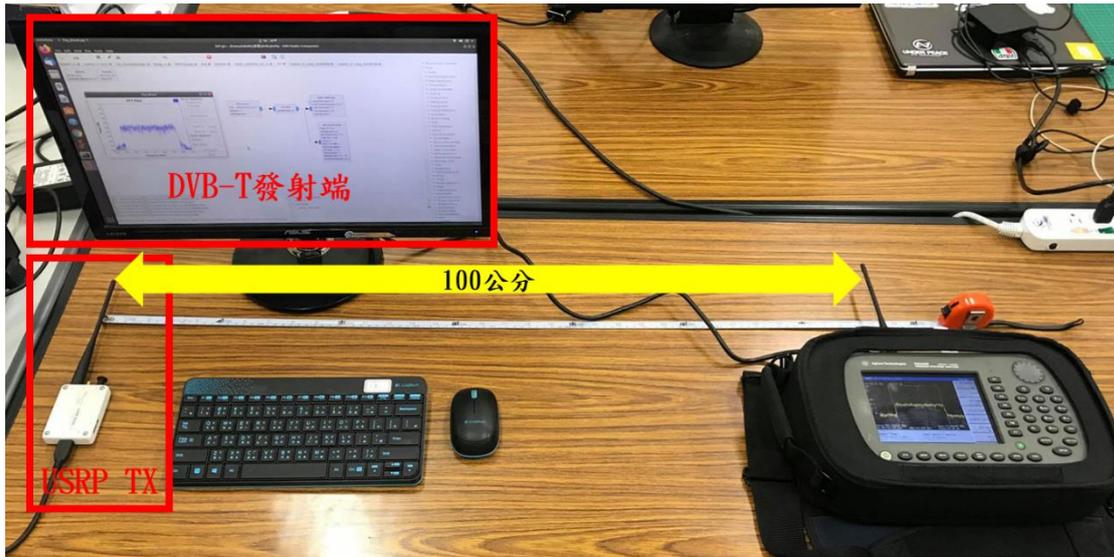


圖 30、測量同頻干擾時預錄檔的頻譜

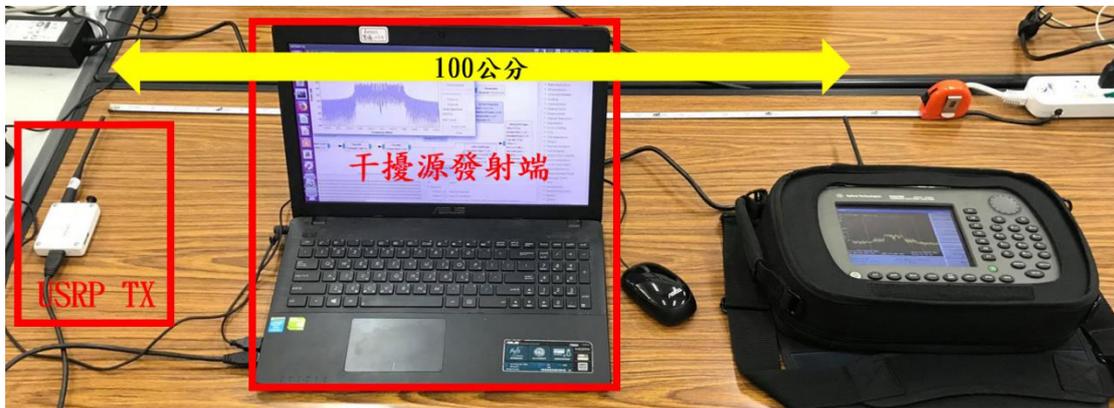
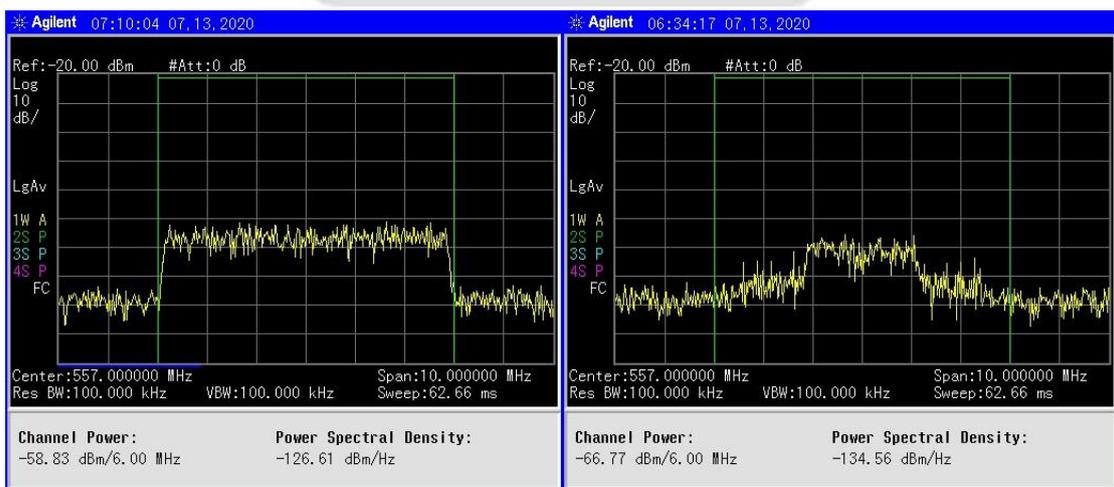


圖 31、測量同頻干擾時干擾源的頻譜



(a) 預錄檔

(b) 干擾源

圖 32、同頻干擾時的頻譜圖

表 11、同頻干擾實驗相關數據

預錄檔的 channel power	預錄檔及干擾源發射的增益值	干擾源的 channel power	音訊遺失數	視訊遺失數	輸入丟棄數
-68.17dBm	60dB	-74.54dBm	0個	0張	0
-66.06dBm	63dB	-72.61dBm	0個	0張	0
-64.63dBm	66dB	-71.22dBm	0個	0張	2
-61.24dBm	69dB	-68.43dBm	0個	12張	5
-58.83dBm	72dB	-66.77dBm	36個	15張	183
-54.97dBm	75dB	-63.84dBm	80個	20張	610

實驗後從VLC媒體撥放器上可以取得節目影片之相關統計數據，由於影片中每一秒遺失的數量都是動態的，為了方便數據統計，我們統一取得幸福來了娘家大紅麩影片中第30秒時的相關統計資訊。表11列出同頻干擾實驗中不同干擾強度造成影片的遺失數量，音訊遺失數代表因損毀而遺棄的音訊個數，視訊遺失數代表因損毀而遺棄的畫面張數，輸入丟棄數代表在讀取輸入時因損壞或停止而丟棄的資料數量。

圖33是依據表11所繪出，從圖中可以觀察到干擾源的gain值在66dB以下時節目影片較不受破壞，而干擾源的gain值在66dB以上時其遺失數便開始增加，意味著干擾源之訊號強度越強則影響節目影片之品質越大。

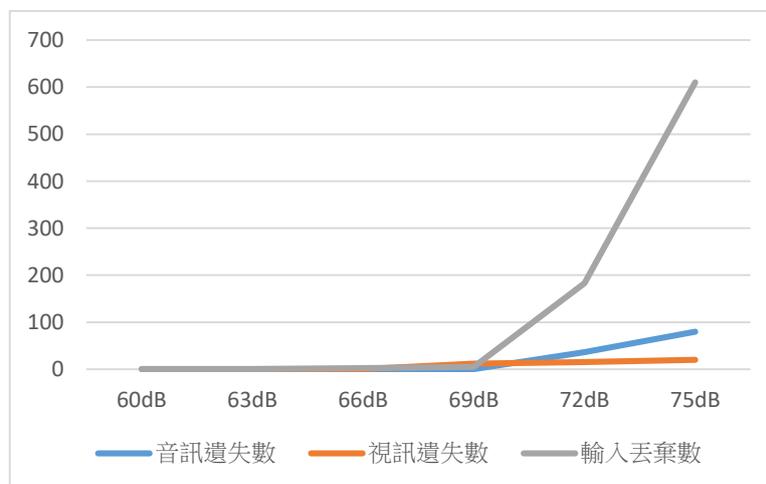


圖 33、同頻干擾時節目影片的遺失數

### 4.3.2 鄰頻干擾

為了取得預錄檔與干擾源的功率大小，使用頻譜儀 Agilent N9340B 在距離發射端天線平行 50 公分的位置測量訊號的中心頻率及功率值，圖 34 為測量預錄檔頻譜時的實驗設置，以 DVB-T 預錄檔發射中心頻率為 557MHz、gain 值為 70dB 的訊號，頻譜儀接收端測量到的通道功率為-51.88dBm，如圖 36 的(a)所示；同樣地，圖 35 為測量干擾源頻譜時的實驗設置，發射中心頻率為 556MHz、gain 值為 70dB 的訊號，頻譜儀接收端測量到的通道功率為-58.13dBm，如圖 36 的(b)所示。

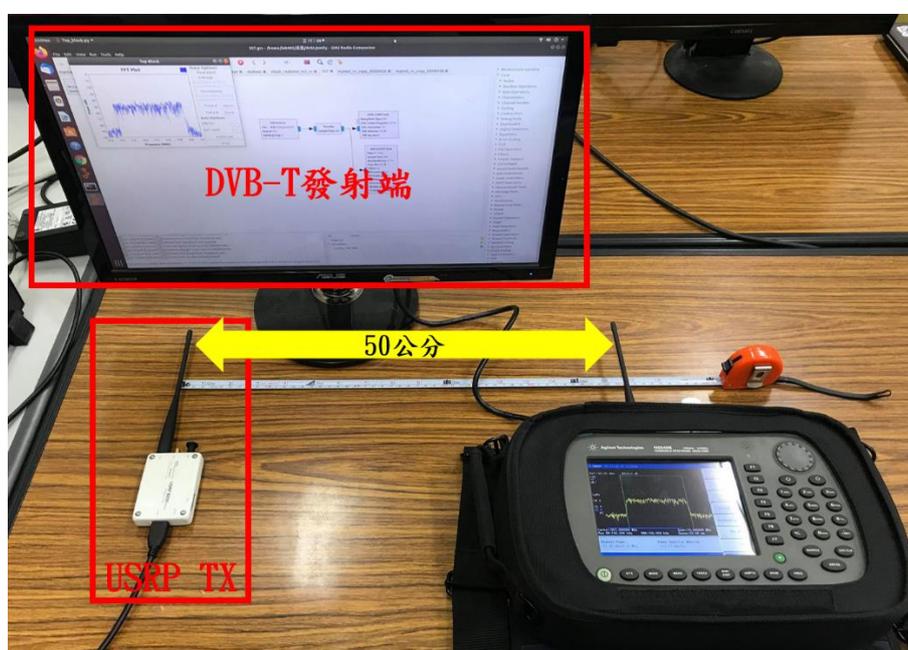


圖 34、測量鄰頻干擾時預錄檔的頻譜

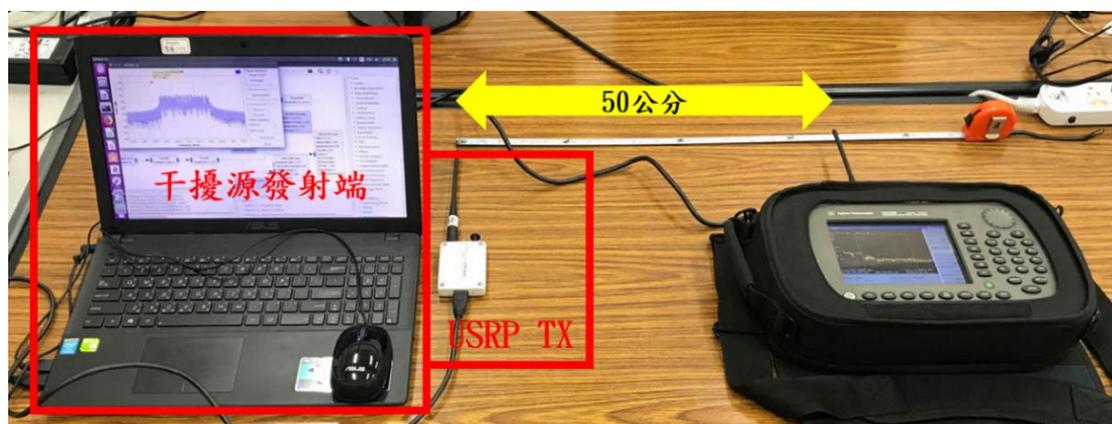
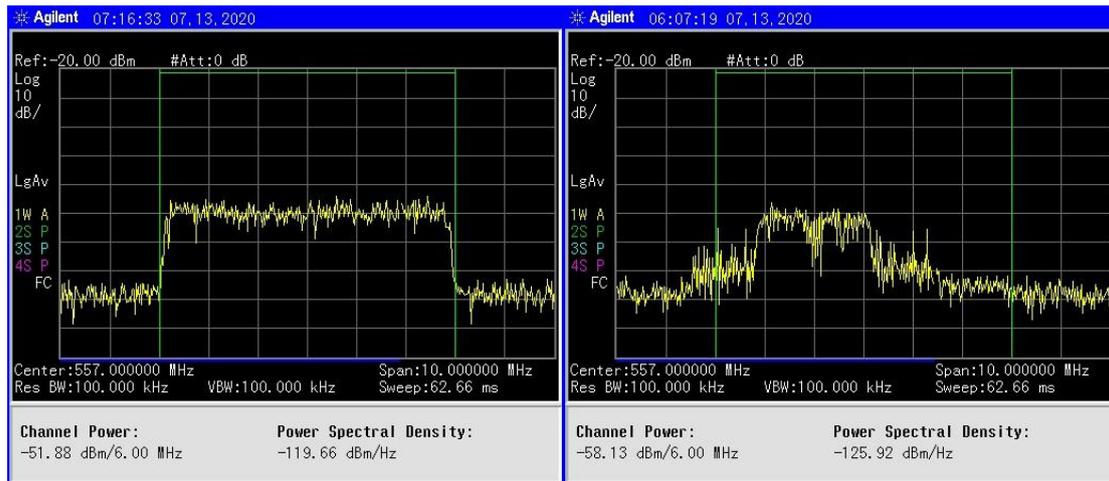


圖 35、測量鄰頻干擾時干擾源的頻譜



(a)預錄檔

(b)干擾源

圖 36、同頻干擾時的頻譜圖

在鄰頻干擾的部分一樣從 VLC 媒體撥放器上取得節目影片之相關統計數據，由於影片中每一秒遺失的數量都是動態的，為了方便數據統計，我們統一取得幸福來了娘家大紅麩影片中第 30 秒時的相關統計資訊。表 12 的「frequency offset」欄位是以 557MHz 為中心計算出頻譜位移，並列出同頻干擾實驗中不同干擾強度造成影片的遺失數量，而「干擾源的 channel power」欄位是以 557MHz 為中心來測量頻寬 6MHz 的通道功率，因此距離中心越近功率值會越大，而距離中心越遠則功率值會越小。

圖37是依據表12所繪出，從圖中可以觀察到干擾源的中心頻率低於 554MHz 及高於 560MHz 時節目影片較不受破壞，而干擾源的中心頻率在 554MHz 到 560MHz 時其遺失數較多，以接收端為 557MHz 為基準，與 554MHz、560MHz 的差距皆為 3MHz，意味著接收端與干擾源之頻譜位移小於 3MHz 時會開始影響節目影片之品質。

表 12、鄰頻干擾實驗相關數據

干擾源的中心頻率	frequency offset	干擾源的channel power	音訊遺失數	視訊遺失數	輸入丟棄數
551MHz	6MHz	-77.34dBm	0個	0張	0
552MHz	5MHz	-75.96dBm	0個	0張	0
553MHz	4MHz	-69.36dBm	0個	0張	0
554MHz	3MHz	-61.71dBm	0個	18張	60
555MHz	2MHz	-59.17dBm	3個	28張	95
556MHz	1MHz	-58.13dBm	39個	35張	261
557MHz	0MHz	-57.59dBm	70個	51張	305
558MHz	1MHz	-58.54dBm	18個	24張	206
559MHz	2MHz	-59.52dBm	6個	12張	44
560MHz	3MHz	-61.35dBm	0個	17張	15
561MHz	4MHz	-69.05dBm	0個	0張	0
562MHz	5MHz	-76.75dBm	0個	0張	0
563MHz	6MHz	-77.46dBm	0個	0張	0

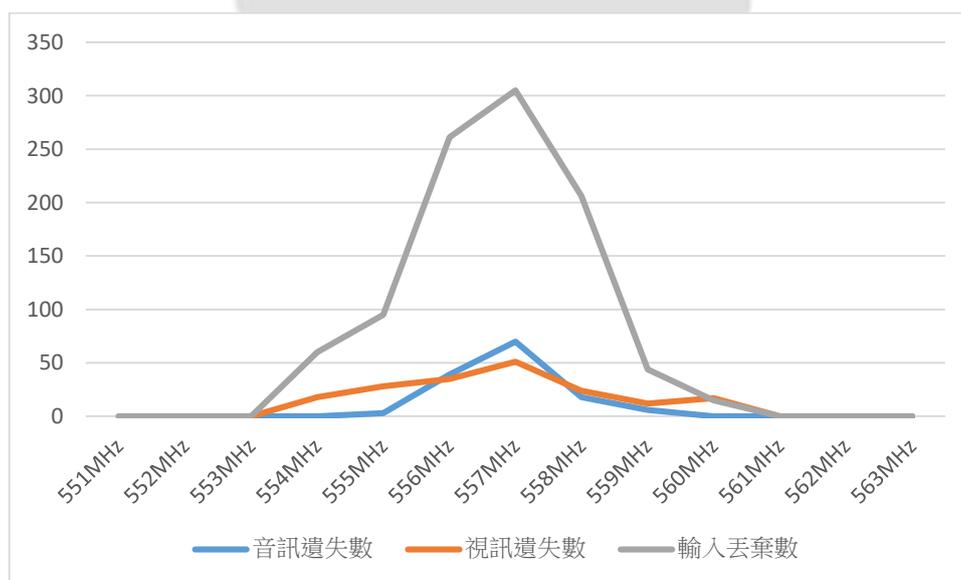


圖 37、鄰頻干擾時節目影片的遺失數

## 第五章 結論

### 5.1 同頻與鄰頻干擾的影響

在同頻干擾的部分，從實驗結果可以得知干擾源之訊號強度越強則影響節目影片之品質越大，與研究[8]所提出的理論相符，訊號雜訊比越高，也就是雜訊強度越小時，訊號接收時受干擾的程度越小。

在鄰頻干擾的部分，從實驗結果可以得知頻譜位移小於 3MHz 時會開始影響節目影片之品質，以相同的干擾訊號強度來說，頻道重疊會造成訊號受到干擾，但影響不至於過大，若只有交疊到 3MHz 則幾乎不會對節目影片造成影響，不需要預留保護頻寬。

在經過兩個實驗情境的操作後，可以發現干擾訊號和頻譜交疊在一定的範圍內才會對 DVB-T 造成影響，也就是說電視空白頻段共享技術是可行的，只要無線網路在規定的頻段範圍外便不會對原有的數位無線電視產生干擾，因此透過 TVWS 技術可以讓頻譜資源做更有效率的應用。

### 5.2 軟體定義無線電用於干擾研究之可行性

本研究實驗的結果可以驗證無線通訊的相關理論，由此可知軟體定義無線電是可以用來進行電波研究的平台，且 SDR 比大多數的平台較具彈性，未來應投入更多的資源及心力在使用 SDR 為輔助進行的實驗，透過更多學者、開發者的投入，將可以進行更多創新的實驗研究。

### 5.3 研究限制

本研究是以預錄檔作為 DVB-T 的受害者，而非實時接收數位無線電視之訊號，因實時接收會因地理位置、天線方向、天氣等因素影響，在實驗中較難控制，因此先將接收到的訊號預錄起來之後再進行軟體解調的動作，並調整軟體中方塊使得干擾源可以對預錄檔產生影響，因此應不影響實驗之結果。

## 5.4 未來研究建議

本研究之無線網路是基於 IEEE 802.11af 協定而設定參數，因 IEEE 802.11af 標準之 FFT Size 較小，因此對電腦規格要求較小，未來可基於 IEEE 802.22 協定來設定其參數，或是依據本研究的架構模擬更多的情境來進行實驗。另外，使用音訊遺失數、視訊遺失數及輸入丟棄數來評估節目影片是否被干擾可能是不夠的，因有時影片不清晰但遺失數卻是零，影片清晰度無法完全的反應在遺失數、丟棄數上，實際影響還是要觀察節目影片的品質，但未來可以嘗試抓取影片更精細的數據資料，或是其他訊號分析指標，例如誤差向量幅度(Error Vector Magnitude；EVM)，來驗證調變通訊裝置的效能。



## 參考文獻

- [1] 國家通訊傳播委員會, “電視白頻段(TVWS)之應用與發展,” NCC NEWS, vol. 9, no. 6, pp. 16-21, Oct 2015.
- [2] ETSI, “Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television,” ETSI Std. EN 300 744 V1.6.2, Oct. 2015.
- [3] NCTU, “OFDM,” [Online]. Available: <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/45879/7/350507.pdf>.
- [4] D. Valerio, “Open source software-defined radio: A survey on GNU Radio and its application,” Forschungszentrum Telekommunikation Wien, Vienna, Austria, FTW Tech. Rep., Aug. 2008.
- [5] Flores, A. B., Guerra, R. E., Knightly, E. W., Ecclesine, P., & Pandey, S. (2013). IEEE 802.11 af: A standard for TV white space spectrum sharing. IEEE Communications Magazine, 51(10), 92-100.
- [6] Stevenson, C. R., Chouinard, G., Lei, Z., Hu, W., Shellhammer, S. J., & Caldwell, W. (2009). IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard. IEEE communications magazine, 47(1), 130-138.
- [7] Setiawan, D., Gunawan, D., & Sirat, D. (2009, November). Interference analysis of guard band and geographical separation between DVB-T and E-UTRA in digital dividend UHF band. In International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering 2009 (pp. 1-6). IEEE.
- [8] Guidotti, A., Guiducci, D., Barbiroli, M., Carciofi, C., Grazioso, P., & Riva, G. (2011, May). Coexistence and mutual interference between mobile and broadcasting systems. In 2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring) (pp. 1-5). IEEE.
- [9] Popescu, V., Fadda, M., Murrioni, M., Morgade, J., & Angueira, P. (2014). Co-channel and adjacent channel interference and protection issues for DVB-T2 and IEEE 802.22 WRAN operation. IEEE Transactions on Broadcasting, 60(4), 693-700.
- [10] Celidonio, M., Masullo, P. G., Pulcini, L., Die, M. V., Fusco, G., & Ferrante, M. (2015, October). LTE services over the 800 MHz band: Interference effects on DVB-T channels caused by the uplink signal. In 2015 AEIT International Annual Conference (AEIT) (pp. 1-6). IEEE.
- [11] Ribadeneira-Ramírez, J., Martínez, G., Gomez-Barquero, D., & Cardona, N. (2015). Interference analysis between digital terrestrial television (DTT) and 4G LTE mobile networks in the digital dividend bands. IEEE Transactions on Broadcasting, 62(1), 24-34.
- [12] GNURadio, “GNURadio,” [Online]. Available: <http://gnuradio.org/redmine/projects/show/gnuradio>.

- [13] 羅乾汶，“以軟體定義無線電技術測量 Wi-Fi 頻道間干擾對通訊品質的影響，” 碩士論文，電信管理研究所，國立成功大學，2016.
- [14] Ettus Research, “USRP B200mini,” [Online]. Available: <https://www.ettus.com/product/details/USRP-B200mini>.
- [15] SDRPlay, “RSP2,” [Online]. Available: <http://www.sdrplay.com/rsp2/>.
- [16] 陳靖姿，“以軟體定義無線電實作廣播電視監測系統之數位訊號分析、即時影像解碼與效能分析，” 碩士論文，電信管理研究所，國立成功大學，2018.
- [17] BogdanDIA, “gr-dvbt,” [Online]. Available: <https://github.com/BogdanDIA/gr-dvbt>.
- [18] BogdanDIA, “DVB-T implementation in GNUradio,” [Online]. Available: <https://yo3iiu.ro/blog/?p=1220>.
- [19] Ishizu, K., Hasegawa, K., Mizutani, K., Sawada, H., Yanagisawa, K., Keat-Beng, T., ... & Harada, H. (2014, September). Field experiment of long-distance broadband communications in TV white space using IEEE 802.22 and IEEE 802.11 af. In 2014 International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC) (pp. 468-473). IEEE.

