

無線電結合民用電信業者與 ZELLO 系統延伸通信指管之研究

作者／簡民儒少校

提要

- 一、社交網路在生活中扮演不可或缺的角色，除了平時的聯繫外，災害發生時人們也利用臉書、推特(Twitter)或 IG(Insta Gram, IG)通報災情或組織救援團隊來彌補傳統救災之不足。
- 二、本論文係以 Zello(Zello Walkie Talkie)的對講機應用軟體(Application, App)為基礎，結合民間研發的訊號轉載線整合民用無線電機延伸通信距離。
- 三、實驗結果可延伸通信距離符合預期，未來可朝「北西中南東異地同時通信、研發 HR-93 或 37c 專用轉載線及研發新式無線電機」等方向持續研究。

關鍵詞：Zello、無線電機、訊號轉載線。

前言

2017年8月25日哈維颶風(Hurricane Harvey)襲擊了美國德州，打破了自1961年以來登陸美國熱帶氣旋強度紀錄，當地的休士頓被水患包圍也造成許多地方無電可用及學生被迫停課，更有逾60名民眾的死亡；¹同年9月10日直徑達643公里且風速最高136公里的艾瑪颶風(Irma)，橫掃美國東南部及佛羅里達州，從西嶼(Key West)到傑克遜維爾(Jacksonville)，有650萬美國人被迫撤離，超過1,300萬人及企業都深受停電之苦²(如圖一)。在颶風侵襲與撤離過程中，首要工作之一便是與外界保持聯繫。社交網路在生活中扮演不可或缺的角色，除了平時的聯繫外，災害發生時人們也利用臉書、推特或IG通報災情或組織救援團隊來彌補傳統救災之不足。而行動裝置就是聯絡救災資源和答覆救援的重要工具，只不過當面臨緊急危難時，不可能還不停地撥電話聯絡或LINE傳送簡訊。因此，這兩個颶風襲美期間，一款名為「Zello」的對講機App被美國災民、救難隊以及志工用來做為救災通訊聯繫事宜。

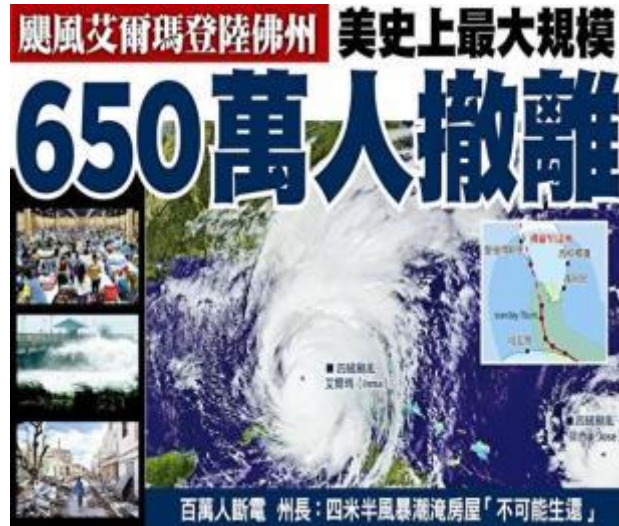
「Zello」對講機App誕生於2007年，是一款免費且可以在很多行動裝置使用，支援Android、iOS、Blackberry及Windows等平台，可建立私人或公用頻道，目前全球用戶已超過1億，仰賴電信或Wi-Fi(Wireless Fidelity)網路，即便在電話不通時使用少許頻

¹ 顏伶如，〈全球熱帶氣旋 70 年減速 10%豪雨肆虐〉《worldjournal》，<https://www.worldjournal.com/5605537/article>，2018 年 6 月 7 日。

² 〈艾瑪已釀 10 死暴潮持續〉《華人今日網(Chinesedaily)》，https://www.chinesedaily.com/focus_list.asp?no=c88594.txt&lanmu=C04&readdate=9-12-2017，2018 年 9 月 11 日。

寬仍可通訊，尤其災難過後的行動網路通常是過載的，其即時且大規模的語音通訊及廣播功能成為救難團隊在忙亂之中聯繫時的最佳利器，由於不需要打字只要按下發話鈕就可通話，更適合老人與小孩。³

圖一 艾瑪颶風相關報導



資料來源：〈美國史上最大規模撤離〉《大紀元新聞網(Epochtimes)》，<http://www.epochtimes.com/b5/17/9/11/n9617815.htm>，2017年8月11日，(檢索日期：2018年5月6日)。

2017年年底在臺北市計程車上，看到司機用藍芽裝置將智慧型手機當作無線電使用，沿途向車行回報載客狀況以及跟同行的車友詢問行車路線與車況，經向司機詢問後回復：「從前計程車上多數安裝無線電機，但現在不少同行都改裝『Zello』對講機App，將智慧型手機代替無線電機並利用藍芽裝置控制發話鍵，收訊品質非常好也沒有蓋台問題」，便思考如何在不違反國軍資安政策與規定前提之下(例如不使用藍芽裝置)，將「Zello」與無線電機做串聯來延伸無線電機通信距離。本次研究是以民用無線電機為主軸，若可行爾後再朝向HR-93或37C等軍用無線電機做研究。

無線電概述

無線電波又稱為「射頻波」是指在自由空間內傳播且頻率範圍在300GHz以下的電磁波，原理是將導體通電產生電流，利用電流強弱的變化形成了無線電的原始訊號，接下來將此原始訊號加入載波進行調變，轉換成適合傳送的對講機電波訊號；無線電頻率是天然稀少又珍貴的公共資源，有其規劃與運用，使公眾共蒙其利，且須限制個人不得私自擅用。交通部依「通訊傳播基本法」第3條第2項及交通部組織法第6條之規定，積極規劃頻譜資源以滿足通訊傳播產業及國防、治安勤務對無線電頻率需求，並

³ 〈侵美颶風意外使對講機程式 ZELLO 爆紅〉《IT 之家(ithome)》<https://www.ithome.com.tw/news/116765>，2017年6月15日。

遵照國際電信聯合會規定及考量國情需要，依無線電頻率之高低的不同將其劃分為9個不同等級的頻帶(如表一)。無線電對講機的工作範圍約在低頻至高頻的範圍內，不同的頻率所應用的電路或工作場所也不同，民間一般使用特高頻(Very High Frequency, VHF)或超高頻(Ultra High Frequency, UHF)兩個頻段，這兩個頻段也是國家法律允許個人或單位使用的頻段範圍，各波段電波之傳播特性及用途如表二。

表一 無線電頻率劃分表

頻帶號碼 (N)	頻帶命名	頻率範圍	公制之波長劃分
4	特低頻	3 至 30 kHz	萬公尺波
5	低頻	30 至 300 kHz	千公尺波
6	中頻	300 至 3000 kHz	百公尺波
7	高頻	3 至 30 MHz	十公尺波
8	特高頻	30 至 300 MHz	公尺波
9	超高頻	300 至 3000 MHz	十分之一公尺波
10	極高頻	3 至 30 GHz	百分之一公尺波
11	至高頻	30 至 300 GHz	千分之一公尺波
12	-	300 至 3000 GHz	萬分之一公尺波

資料來源：作者整理。

表二 各波段電波之傳播特性及用途

頻率分類	頻率範圍	波長範圍	傳播特性	代表性用途
特低頻	3 30 kHz	100,000 10,000 公尺	一、電波沿地球表面行進，可達長距離通信。 二、終年衰減小，可靠性高。 三、利用電離層與地表面形成的導層傳至遠距離。 四、地波與天波並存。 五、使用垂直天線。	一、極長距離點與點間之通信。 二、航海及助航。 三、感應式呼叫系統。
低頻	30 300 kHz	10,000 1,000 公尺		一、長距離點與點間之通信。 二、航海及助航。 三、感應式呼叫系統。
中頻	300 3000 kHz	1,000 100 公尺	一、電波於日間沿地球表面行進達較短距離。 二、夜間若干電能靠E層反射達較長距離。 三、天波、地波並存。 四、日間及夏季衰減較夜間及冬季為大。 五、使用垂直天線。	一、中波廣播。 二、航空及航海通信。 三、無線電定位。 四、固定行動業務。 五、海洋浮標。 六、業餘通信。
高頻	3 30 MHz	100 10 公尺	一、電波利用電離層反射以達成遠距離通信，屬天波傳播。 二、傳播情況隨季節及每日時間變化頗大。	一、長距離點與點間通信及廣播。 二、業餘通信。 三、無線電天文。 四、標準頻時信號。

			三、利用天線指向性，可收小功率達長距離之通信效果。 四、通達距離隨頻率及發射角之不同而異。 五、太陽黑子數越多，電離層密度越大，位置較高，最高可用頻率亦加高，通信距離越長，反之相同。 六、地波距發射機不遠即消失。 七、使用水平天線。	五、航空行動。 六、短波廣播。 七、民用無線電。
特高頻	30 300 MHz	10 1 公尺	一、穿越電離層，較不受其影響。 二、以空間波作視距通信。 三、20-65MHz間利用E層散射達視距外通信。 四、使用垂直及水平天線。 五、接近直線傳輸。	中距離通信、雷達、調頻廣播、電視、導航、業餘、無線電叫人、各種陸地行動通信。
超高頻	300 3000 MHz	100 10 公分	一、視距通信。 二、空間波接近直線傳輸。 三、1,000MHz以上微波： (一)反射面、反射網、喇叭型、拋物面反射式及平面天線等。 (二)恆向地面彎曲進行。 (三)使用線上保護、熱待接保護及分集式保護等鏈路保護方式。 (四)方向性極高，波束極狹 (五)發射功率小。 (六)如光波性質，遇阻礙即被吸取。 (七)10GHz以上頻率愈高，受雨點、霧、雪、雹及空氣中氣體之吸收愈大。 (八)利用對流層散射可達遠距離。	短距離通信、中繼系統、電視、衛星氣象、天文、業餘無線電定位、助航太空研究、地球探測、公眾行動電話、有線電話無線主副機、計程車無線電話。微波中繼、各種雷達、衛星通信、衛星廣播、無線電天文。
極高頻至高頻	3 300 GHz	10 0.1 公分		

資料來源：陸玉珠，《無線電電子通信訓練教範》(桃園：陸軍總司令部，民國 91 年 10 月 15 日)，頁 2-36~38。

無線電對講機的概述

對講機是一種攜行方便，不需依靠網路與衛星訊號及通訊費就能雙向通訊的無線電。全世界第一套無線電對講機是出現在第二次世界大戰由軍方首次使用，目的是讓軍人在行動時能以對講機相互通話，至此以後，雙向無線電在軍事用途中逐漸普遍化。標準的無線電對講機包含了發射器、接受器、麥克風、揚聲器、天線和電源，發射信號端的人向對講機的麥克風說話，麥克風收到語音的類比信號，經由發射器做放大處

理成為無線電信號，傳送至天線，將信號發射至自由空間，接收信號端的天線接收到自由空間的無線電信號後，把信號轉送到接收器，再將無線電信號轉換為原來的語音類比信號，最後由對講機的擴音喇叭發送出來，此時就可聽見發信端所傳送的訊息。

無線電對講機從第二次世界大戰結束到現在為止，因為使用方便已成為一種常見的工具，舉凡警車、救護車、貨車、計程車、醫院、餐廳、賣場等等，都會看見使用對講機做為彼此在工作上的資訊溝通。1949年「美國聯邦通訊委員會」更制定了商業用途的專用頻段，從而刺激無線電對講機發展，從商業用戶擴大到了工業界、運輸業、建築業以及各種大型和小型製造業。目前對講機分成可攜式與車裝式兩種，一般手提可攜式的無線電對講機是以電池做為電源來驅動；而車裝式對講機則是使用汽車的電源。

無線電最大限制是「收不到訊號」，發話與接收端雖然在同頻道，但兩者距離過遠時是無法通訊的。通信距離跟「發射功率」、「接收靈敏度」及「複雜的電磁環境影響」有關，由於影響無線電訊號傳播距離成因太複雜，無線電並無「有效距離」這個參數。例如，海平面應該是地球上無線電對講機比較理想的通話環境，一般不會有障礙物且很少干擾，但事實是在海上手持對講機的通信距離只能達10-20海浬左右，因為這兩個電波的頻段特性是直線傳播，而地球是圓的當雙方相距太遠，就會被海水在中間擋住(除非架高天線，增加通話距離)。另外，在城市中影響通信距離最大的因素是障礙物。市售的低功率對講機聲稱最大通信距離是5公里，僅是一個理論數據，在實際使用中由於所處環境不同，背景雜訊有大有小，電磁干擾有強有弱，真正通話距離不到3公里，在有高地、較多建築物或較密閉的室內通話距離更短，依據「電磁理論」頻率越低波長越長，電波穿透建築物的能力弱，但繞射能力強；頻率越高波長越短，電波穿透建築物能力強但繞射能力弱。因此，在曠野或海面的空曠區需使用繞射能力強的對講機，高樓大廈林立的都市裡因密集度高需使用電波穿透力強的對講機。

「低功率無線電對講機」與「民用頻段無線電對講機」這兩項低功率無線電，因發射功率低，使用者無需申請執照，僅器材申請型式認證即可。⁴民用頻段(Citizen Band, CB)，這是指分配在26.965-27.405 MHz的固定的40個頻率，目前國內規定發射時波峰功率不得超過5瓦。此外，還有「低功率無線電對講機」，這是低功率(1瓦以下)、短距離(市區約700公尺，無障礙開闊地約二公里)，適用於家庭、餐廳、工地、工廠、倉庫、會場、學校、運動場、港口、車輛調度、警衛等多種場合之無線電對講機。其工作頻率採用467.5125 MHz至467.675 MHz 頻段之連續14個頻道，一般市面上常見的對講機及通信距離如表三。

⁴ 無線電製造商將無線電機送交電信總局經型式認證核可後，一般民眾即可在市面上自由購買、使用，不需再向交通部申請使用執照。

表三 一般市面上常見的對講機及通信距離

業餘手扒機	5w	1-5 公里
國道有外掛天線	5w	2-10 公里
免執照商務機	1-3w	1-3 公里
賣場玩具對講機	0.5w	500-1000 公尺
車機台	25w	5 - 15 公里

資料來源：作者整理。

實驗設備與架構

一、無線電對講機

功用為發射與接收訊號，使用本部連所購置的Vertex Standard VX-820對講機，體積大小高*寬*深(含高容量鋰電池)為96.5*57.5*37.5公分，重量含鋰電池為310公克，尺寸超輕巧，規格特性為輸出功率為5w，頻率範圍在VHF 137-174MHz之間，頻道間隔為12.5KHz，鋰電池充電量最高可達3000mAh，電池壽命超過20小時(如圖二)。

圖二 Vertex Standard VX- 820 無線電機



資料來源：作者拍攝。

二、無線電訊號轉發台

使用機型為KENWOOD TK-U100無線電機，由廠商依據圖二的無線電對講機頻道進行燒碼，將Vertex Standard VX-820無線電對講機所發射的訊號做接收，再將訊號轉入無線電訊號轉載線(或者將無線電訊號轉載線還原的訊號轉出發射至Vertex Standard VX-820無線電對講機接收)，體積大小高*寬*深(含高容量鋰電池)為113*54*25公分，重量(含高容量鋰電池)為203公克，其輸出功率為5w，頻率範圍為VHF136-176MHz與UHF440-480MHz之間，頻道間隔為12.5 KHz，鋰電池充電量最高可達3,000mAh，電池續航力超過10小時(如圖三)。

圖三 KENWOOD TK-U100 無線電訊號轉發台



資料來源：作者拍攝

三、無線電訊號轉載線

廠商所研發的「Zello」無線電App軟體專用的轉載線，功用為將KENWOOD TK-U100無線電機所接收的類比訊號藉由內建晶片進行處理後，轉載無線電訊號進入智慧型行動裝置，當做遠距離的中繼使用，是一條很簡便的專用線，不需使用繁雜的電腦或者是任何的設施工具，只要準備一支KENWOOD原廠的無線電對講機或者是相對應的K頭對講機即可(如圖四)。

圖四 無線電訊號轉載線



資料來源：作者拍攝。

四、智慧型行動裝置

由於「Zello」無線電App軟體並無支援蘋果系統的外掛式發話鍵功能，必須使用安卓系統的行動裝置。本次實驗採用三星NOTE 2與NOTE 3的智慧型手機，功用為下載「Zello」對講機App軟體與使用，以及將發射端經由無線電訊號轉載線所轉載的無線電訊號，以網路封包的模式利用4G行動網路的平台傳送訊號至遠方的接收端(或者接收端將遠方傳送的網路封包訊號轉進無線電訊號轉載線進行還原)(如圖五)。

圖五 安卓系統的智慧型行動裝置



資料來源：作者拍攝。

五、實驗架構

將「發射與接收訊號的Vertex Standard VX-820無線電機」、「無線電訊號轉發台的KENWOOD TK-U100無線電機」、「無線電訊號轉載線」及「安卓系統的智慧型行動裝置」進行串接成一套設備，本實驗共需2套：一套做為發射端，一套為接收端。為了提高實驗精準度，以及避免實驗過程有其他雜訊或不明干擾，特別將智慧型行動裝置還原成出廠預設值，並卸除不必要的內建軟體，最後進行「Zello」無線電App軟體內部參數調校作業，將效能調整至最佳狀態(如圖六)，無線電發射與接收流程如圖七。

圖六 實驗設備串接後的系統圖



資料來源：作者拍攝。

短距離與長距離實機通聯

一、短距離通信

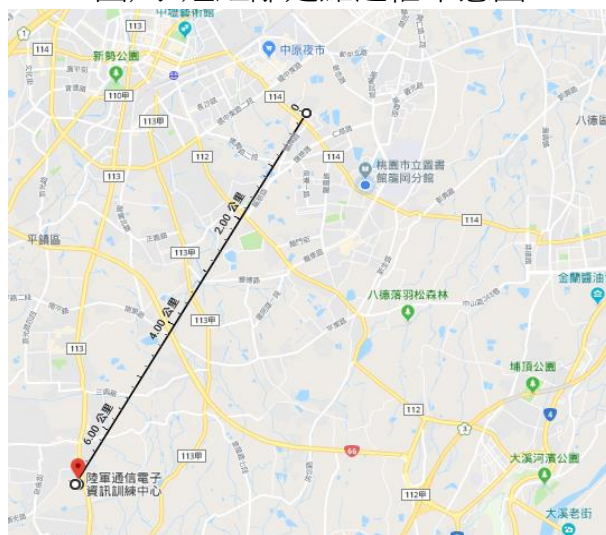
本次通信測試起點A為作者住家(近中壢中山東路榮服處附近)，終點B為陸軍通信電子資訊訓練中心，兩點之間距離概約7公里(如圖八)。本次通信測試區分為定點測試與機動中通信兩部分，置重點於AB兩點通信品質，其定義係參照「無線電電子通信訓練教範」第3014條有關「信號強度」之說明，如表四。

圖七 無線電發射與接收流程圖



資料來源：作者整理。

圖八 短距離定點通信示意圖



資料來源：作者繪製。

表四 「無線電電子通信訓練教範信號強度」說明表

項次	信號強度	通信品質
一	0	不通
二	1	模糊不可辨，接收訊息不佳且無法得知對方傳遞內容。
三	2	模糊可辨，接收訊息不佳但可得知對方傳遞內容。

四	3	清晰有雜音，接收訊息良好但有背景雜音。
五	4	清晰可辨，接收訊息良好無雜音。

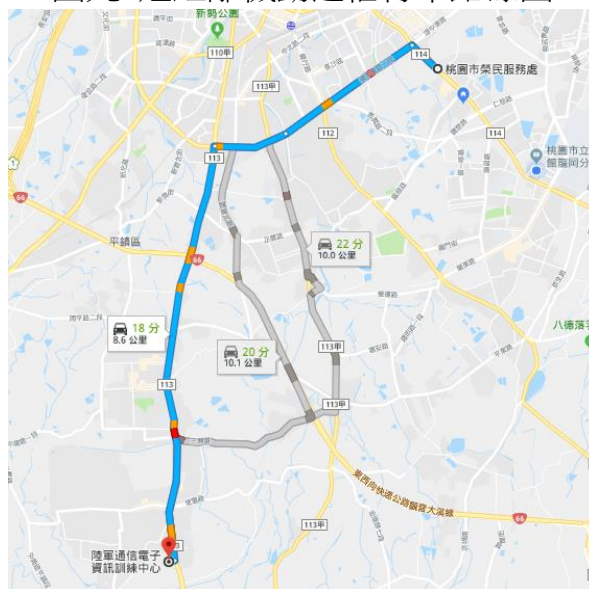
資料來源：陸玉珠，《無線電電子通信訓練教範》(桃園：陸軍司令部，民國 91 年 10 月 15 日)，頁 2-35。

定點測試：使用Vertex Standard VX-820無線電機進行實驗，因為兩點之間距離概約7公里，已超過其諸元特性的5公里通信距離，A與B是無法實施通聯；調整使用本研究實驗設備所串接的無線電機重新進行通聯測試，實驗結果為A與B不僅可以雙向對通，且通信品質的清晰度可達4。

機動中通信：從A點出發往B點開車移動，行車路線如圖九。行車時間大約17分鐘，採每2分鐘通聯測試乙次，期間共計通聯8次，實驗結果為可雙向對通，且通信品質的清晰度可達4。

小結：Vertex Standard VX-820無線電機的通信距離為5公里，超過則無法進行雙向通信，改用本研究所串接的無線電機，則可延伸通信距離，且通信品質的清晰度均可達1，AB兩點間為複雜電磁環境的都市型態。

圖九 短距離機動通信行車路線圖

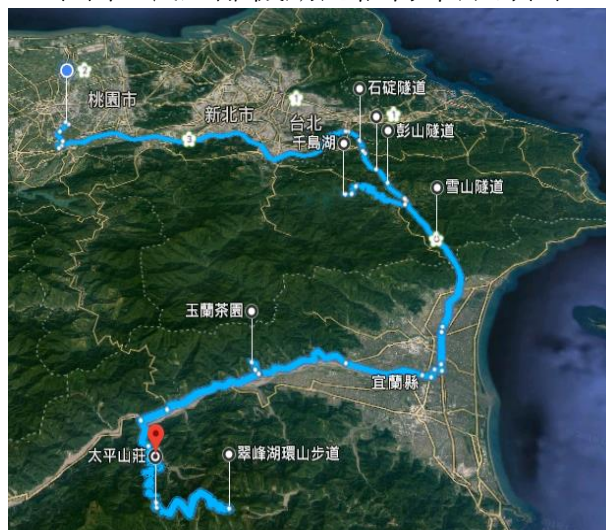


資料來源：作者繪製。

二、長距離通信

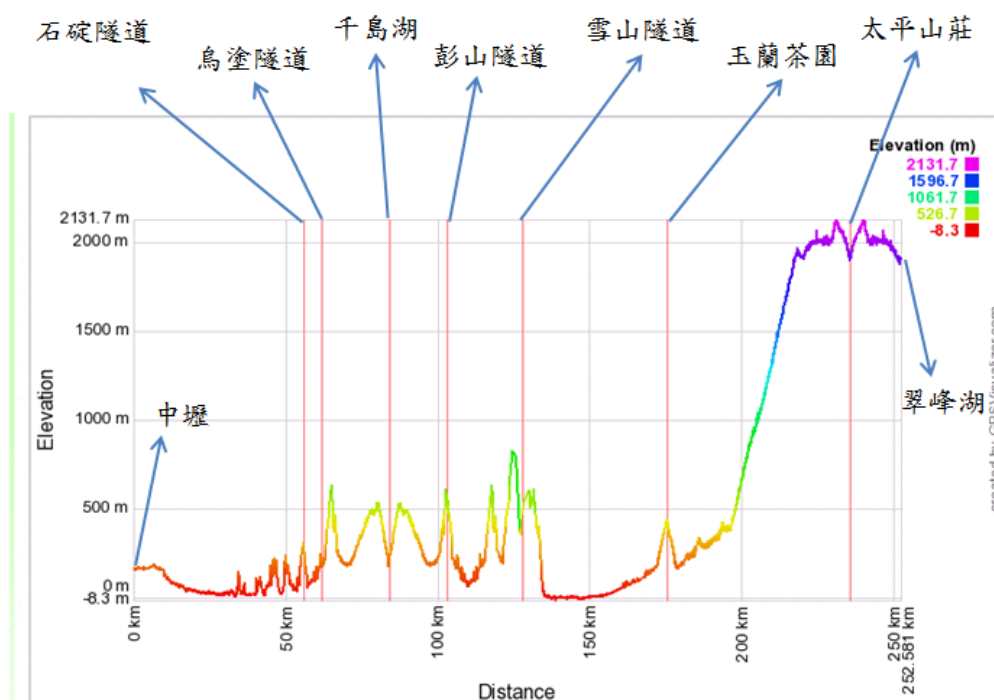
經過短距離通信測試後，即進行長距離通信測試，本次測試起點A為作者住家(近中壢區中山東路榮服處附近)，終點B為宜蘭縣太平山莊，行車路線約183公里，行車時間約為3小時38分(如圖十)。重要測試地點與標高分別為(石碇隧道319公尺、烏塗隧道250公尺、千島湖210公尺、彭山隧道630公尺、雪山隧道480公尺、玉蘭茶園460公尺、翠峰湖1840公尺、太平山莊1926公尺)(如圖十一)，研究內容計有下列四個重點：

圖十 長距離機動通信行車路線圖



資料來源：作者繪製。

圖十一 重要測試地點與標高示意圖



資料來源：作者繪製。

(一)機動中通信

從A點出發往B點開車移動，本次目標為長距離機動中通信，選擇在車輛從國道三號轉進國道五號後，開始進行機動中通信，並區分三個部分，第一部分為國道三甲轉國道五號為起點至離開雪山隧道出口下宜蘭交流道，行車距離約43公里，行車時間32分鐘(如圖十二)，每2分鐘通聯測試乙次，共計16次，測試結果為可以雙向對通且通信品質的清晰度可達4。

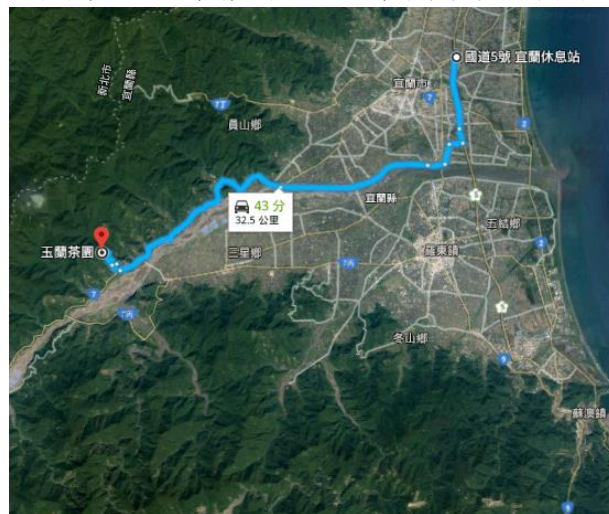
圖十二 國道三甲-宜蘭交流道路線圖



資料來源：作者繪製。

第二部分為離開宜蘭交流道(蘭陽平原)至玉蘭茶園(太平山的山腳下)，此段路線行車距離約33公里，行車時間約43分鐘(如圖十三)，採每6分鐘通聯測試乙次，共計7次，測試結果為可以雙向對通且通信品質的清晰度可達4。

圖十三 宜蘭交流道-玉蘭茶園路線圖

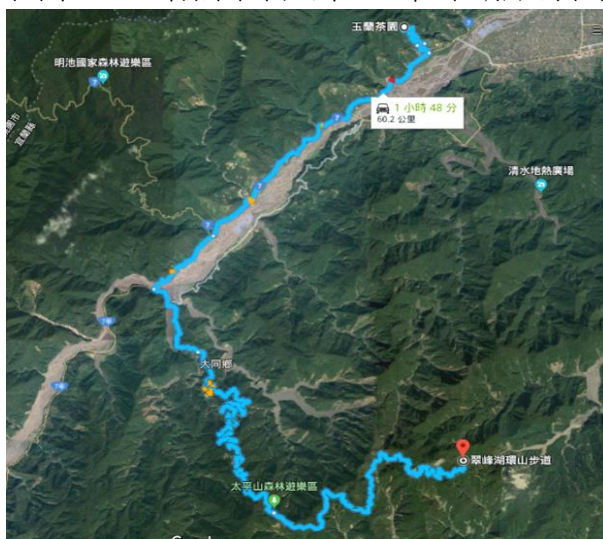


資料來源：作者繪製。

第三部分為玉蘭茶園至太平山再轉進翠峰湖，此段路線行車距離約60公里，行車時間約1小時50分鐘(如圖十四)，採每6分鐘通聯測試乙次，共計18次，測試結果為台7號道路至太平山遊客中心大致都可以雙向對通，且通信品質的清晰度可達4；從太平山遊客中心至太平山莊蜿蜒的山路(太平林道)則完全無法通信；太平山莊及周遭500公尺都可以雙向對通，且通信品質的清晰度可達4；離開太平山莊至翠峰湖山路(太平林道)及翠峰湖周邊則完全無法通信，通信測試結果如表五。本次實驗使用的行動網路為遠傳電信，經查詢遠傳電信在宜蘭線的網路涵蓋速率如圖十五，網路訊號及下載連線速率參考值如表六。將圖十四、十五及表六做交叉比對，可驗證及預判表五「第三部分」

通信測試無法通聯的結果。

圖十四 玉蘭茶園-太平山-翠峰湖路線圖



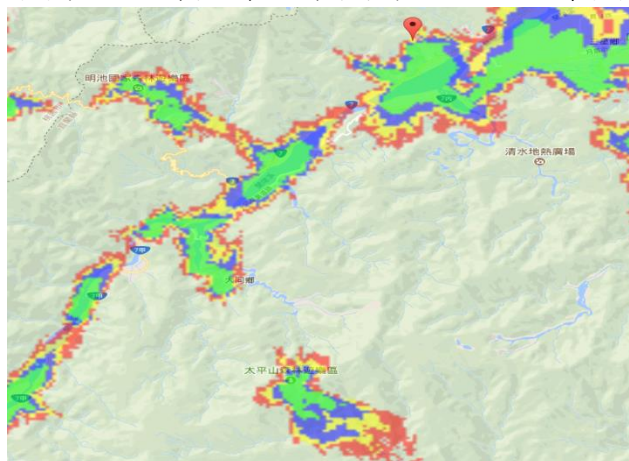
資料來源：作者繪製。

表五 中壢-國道五號-宜蘭太平山機動通信測試表

項次	範圍	行車距離 (公里)	行車時間 (分)	測試時間 間隔	測試 次數	測試結果
第一部分	國道五號~ 宜蘭交流道	43	32	2	16	雙向對通 訊號清晰度 4
第二部分	宜蘭交流道~ 玉蘭茶園	33	43	6	7	雙向對通 訊號清晰度 4
第三部分	玉蘭茶園~ 太平山遊客中心	27	46	6	8	雙向對通 訊號清晰度 4
	太平山遊客中心 ~太平山莊	17	33	6	5	無法通聯僅 太平山莊正常
	太平山莊~ 翠峰湖	16	32	6	5	無法通聯

資料來源：作者整理。

圖十五 遠傳電信宜蘭線網路涵蓋速率圖



資料來源：作者繪製。

表六 網路訊號及下載連線速率參考值

顏色	室外及室內涵蓋感受度	訊號數	下載連線速率參考值
	室外優、室內好	4-5 格	2Mbps-25Mbps
	室外好、室內可	3-4 格	2Mbps-15Mbps
	室外可、室內弱	2-3 格	2Mbps-5Mbps
	有涵蓋但弱訊區	1-2 格	2Mbps 以上

資料來源：作者整理。

(二)國道五號的隧道中通信

國道五號高速公路北起自臺北市南港區，南迄於宜蘭縣蘇澳鎮，以雙向四線道鋪設。隧道計有南港隧道(456、431公尺)、石碇隧道(2,698、2,720公尺)、烏塗隧道(215、246公尺)、彭山隧道(3,861、3,806公尺)、雪山隧道(12,871、12,947公尺)，隧道長度按照(南行線、北行線)格式呈現。其中雪山隧道全長12.9公里，是亞洲第二長的公路隧道，僅次全長18公里的中國秦嶺終南山公路隧道，又因施工難度非常高，還入選在大英百科全書中。

在長公路隧道中，消防救災工作顯得特別重要，因為在密閉的空間裡，若發生火災會比在空曠處更難以救援，例如1999年3月24日比利時卡車在白朗峰隧道內6公里處(全長11.6公里)發生起火爆炸的事故，大火在隧道內燃燒五十多個小時，現場溫度高達攝氏1,000度。事故發生後，共動員了義大利、法國與瑞士三國聯合救災，整整花了三天才將火勢撲滅，最終統計有39人死亡(如圖十六)。白朗峰隧道也因高溫燃燒造成拱頂崩塌，隧道封閉了三年進行維修，才重新開放通車，重建時特別在隧道口加裝熱感應儀的安全設備來偵測車體是否過熱。

圖十六 白朗峰隧道災難現場圖



資料來源：〈高溫千度如煉獄!〉《東森新聞(Ettoday)》，<https://www.ettoday.net/news/20120507/44605.htm>，2012年5月7日，(檢索日期：2018年5月16日)。

反觀我國的雪山隧道為防止類似火災，設計上採雙孔雙向設計排除車輛對撞的事件，然雪山隧道在2006年通車迄今仍有12件火燒車事件(如表七)，尤以2012年5月7日因為車輛「追撞」肇生2死25人輕重傷及150人被緊急疏散的火燒車事件，更是通車來首宗的奪命事故(如圖十七)。因此，在「長公路隧道」中為了確保災情相關資訊通報及通訊之執行，應建立多元化災情查報管道(如有線電話、無線電話、傳真電話及公警專用電話之通訊及簡訊通報)及多迴路通訊線路，以確保縱向及橫向災防業務間聯繫，甚至在管理及使用上更應有未雨綢繆之災害應援及準備機制。

嘉義市政府消防局於2016年12月9日鑑於長隧道發生重大事故時，部分偵測設備可能遭受損壞導致功能喪失，並使救援人員無法完整掌握現場災情發展。為加強蘭潭隧道救災能力，由該局災害搶救科、救災救護指揮科、教育訓練科、第二大隊、東區分隊及蘭潭分隊偕同前往蘭潭隧道現地進行演練。在本次演練裡，針對通訊測試部分，除了利用無線電手提台直通，並利用車裝台進行轉發演練及架設無線電中繼台演練外，更首次使用網路「Zello」無線電App進行測試。⁵

表七 雪山隧道通車後火燒車事件一覽表

項次	日期 時間	地點	事件發生原因	人員 傷亡
1	95.12.21 20:00	南下 25.3K 外 側車道	小貨車底盤起火。	無
2	96.04.30 09:21	北上 21.5K 內 側車道	自用小客車引擎過熱冒煙(未起火)。	無
3	96.05.13 20:56	北上 27.5K 外側車道	自用小客車引擎過熱冒煙起火。	1 人 受傷
4	97.08.03 12:13	北上 22.6K 外側車道	自用小客車故障起火。	無
5	97.10.17 10:22	北上 15.8K 外側車道	遊覽車機件故障冒煙起火。	無
6	98.7.31 14:56	北上 22.5K 緊急停車彎	小貨車後車斗冒煙。	無
7	100.3.15 23:25	南下 26.3K 緊急停車彎	自用小客車故障起火。	無
8	100.12.7 17:30	北上 26.8K 內側車道	小客車疲勞駕駛致撞擊兩側隧道壁及步道緣石後，車輛故障底盤起火。	無
9	101.5.7 13:27	南下 26K 外側車道	小客車爆胎減速行駛，後方大客車未保持行車距離，追撞小型車及另一大客車起火。	2 死 34 傷
10	103.7.17 14:44	南下 16.5K 內側車道	小貨車引擎起火。	無

⁵ 〈加強蘭潭隧道救災力〉《台灣好新聞(TaiwanHot.net)》，<http://www.taiwanhot.net/?p=401941>，2017 年 6 月 15 日。

11	105.3.27 01:34	北上 21.8K 外側車道	小貨車起火冒煙。	無
12	106.9.7 03:35	南下 27.9K 外側車道	小客車爆胎仍繼續行駛導致起火。	無

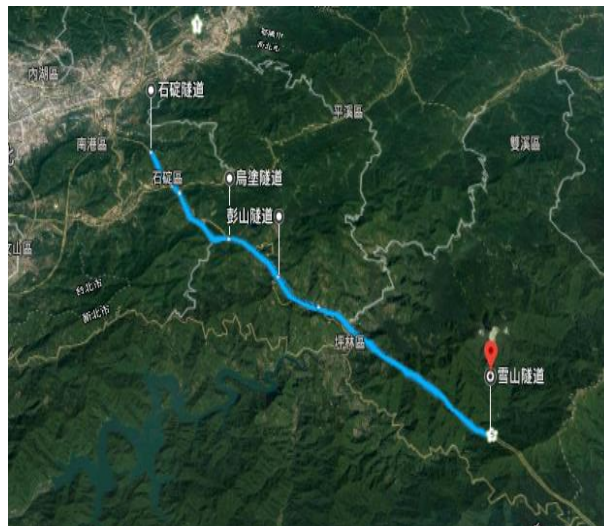
資料來源:作者整理。

圖十七 雪山隧道火燒車照片



資料來源:〈雪隧火燒車 2 死 25 傷〉《蘋果日報網(Appledaily)》, <https://tw.appledaily.com/headline/daily/20120508/34213016>, 2012 年 5 月 8 日, (檢索日期:2018 年 8 月 10 日)。

圖十八 石碇隧道-雪山隧道路線圖



資料來源:作者繪製。

綜上所述,由於火災發生後,災情擴大迅速,且投入救災人力非常多,易造成指揮體系資訊傳達彙整不易,加上各級長官對於災情之關心與資源投入之決策判斷,往往使得指揮官及各救災小組負擔更大。因此,應建立一個能迅速彙整現場影像、人員情形、交管狀況,以及將資訊同步提供指揮救災人員之平台,迅速有效投入救災,避免救災相互衝突。於是本實驗也將國道五號的幾處隧道納入通信測試,測試路段為從

石碇隧道開始至離開雪山隧道出口，行車距離約38公里，行車時間約28分鐘(如圖十八)。通聯測試方式除了烏塗隧道因長度僅216公尺只測試1次，參考隧道最低時速每小時70公里規定(即每分鐘至少行駛1.2公里)訂定為進入隧道後每2分鐘測試乙次，共計10次(如表八)，測試結果均為可以雙向對通，通信品質的清晰度可達4，即使在雪山隧道最中央處所測試的通信品質依然正常。

表八 國道五號隧道通信測試統計表

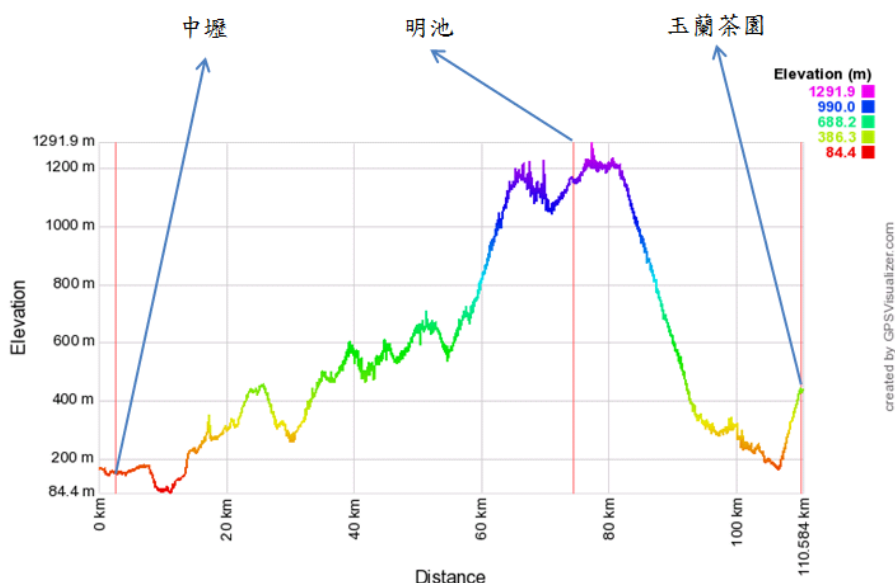
隧道名稱	車行方向	起迄里程	長度(公尺)	測試次數	測試結果
石碇	南下	0k+783-3k+481	2,698	1	清晰度可達 4
烏塗	南下	7k+677-7k+893	216	1	清晰度可達 4
彭山	南下	9k+442-13k+303	3,861	2	清晰度可達 4
雪山	南下	15k+203-28k+128	12,925	6	清晰度可達 4
合計				10	

資料來源：作者整理。

(三)突破地障通信

圖十九是作者用「Google Map」以及「Gps Visualizer」軟體所繪製桃園市中壢區至宜蘭縣玉蘭茶園兩點之間的「路徑地勢高度剖面圖」。最高點為雪山山脈北橫段的「明池」，若單純使用一般的VHF頻段且功率在5W以下的低功率無線電機是無法達成雙方通聯，原因有三：

圖十九 中壢至宜蘭玉蘭茶園間的「路徑地勢高度剖面圖」



資料來源：作者繪製。

1. 是無線電VHF以上的頻段通訊傳播主要為可視距離直線波，而本研究通話雙方位置中間被高山阻擋。

2. 其次是低功率無線電機的通信距離僅5公里，即使在至高點加裝中繼台也無法達成通聯，因通訊距離還要考慮中繼台的位置高低、天線增益、發射功率、電波行進間的阻礙物等等。

3. 最後是國內「業餘無線電管理辦法」無中繼電臺相應的設置和管理規定，造成業餘無線電愛好者無法順利申請，目前僅有兩個業餘無線電中繼電臺。⁶然而本研究所使用的無線電機串接無線電訊號轉載線搭配「Zello」的App程式，結合民間遠傳電信業者的行動基地台，則解決了這個問題，適時延伸通信距離。

(四)收發頻段不同的中繼通信

一般來說無線電對講機要在相同頻率才可雙方通信，但由於建築物或地形的遮擋，地面2個電台間的信號可能無法互相傳送，通常5W手持無線電機在市區2公里以外就無法通聯了。為此，通常在高處建立一個天線，並設置一台大功率的特殊收發電台，把一個頻點上收來的信號(比如434.460)轉發到另外一個頻點上(比如439.460)，於是在覆蓋範圍的電台都可以透過它和其他人聯繫，以小功率設備來擴大信號，俗稱的中繼台。通常中繼台使用一對頻點，一個頻點用來接收(上行信號，如434.460)，收到時在另一個頻點廣播出去(下行信號，如439.460)。由於中繼台占有比較好的地理位置，同時有比較大的發射功率，所以透過中繼台能夠聯絡到更多人，使用中繼的人的手持台或車裝台的收發頻率要和中繼的收發頻率相反，才可以打開中繼，⁷而本研究整合「Zello」的無線電對講機特點是以4G網路當做平台，不需要在高處架設一台大功率的特殊收發電台與天線也可做到此功能(如圖二十)。

圖二十 收發頻段不同的中繼通信



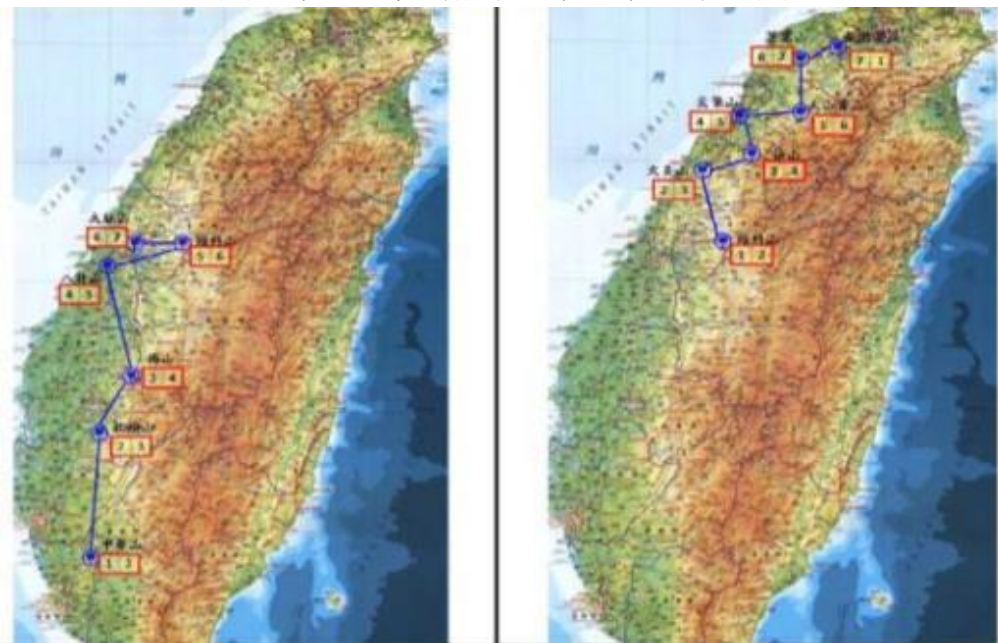
資料來源：作者整理。

⁶ 石世豪，〈業餘無線電監理作業〉《NCC NEWS》(台北)，第10卷第1期，中華郵政台北雜誌社，中華民國105年5月，頁15-17。

⁷ 〈每日頭條：何謂中繼、頻率、頻差〉《kknews》，<https://kknews.cc/zh-tw/tech/38grv3y.html>，民國107年6月10日。

圖二十一為本軍現行的「跨區無線電中繼網路示意圖」，使用37系列無線電機之車裝中繼型CS/VRC-194C無線電機，其組成包含通信主機2部、車裝控制器、車裝架底座、功率放大器、車裝天線2組、揚聲器、送受話器各2個、GPS接收天線、導線組等16項，具有自動轉發功能，當做中繼傳輸模式操作時，裝備必須符合以下要求：

圖二十一 跨區無線電中繼網路示意圖



資料來源：吳永德，〈運用 37C 無線電機構建災害防救通聯機制之研究〉《101 年通資電戰術戰法研討會論文集》，民國 101 年 10 月，頁 42。

1.中繼導線需連接，上、下架通信主機均需將「操作功能模式」選擇鈕轉至「中繼」位置。

2.定、跳頻模式通連，上、下兩部通信主機使用頻率應隔開10%以上。

3.所架設的兩組天線，儘可能相距1.5公尺以上，以避免同位干擾。

現階段常運用於跨區增援、聯兵旅對抗等專案操演，在一般演訓及災害防救中並未廣泛運用，且未於平時開設，當救災或戰備發生時可能有整備風險。因此，平時跨區中繼無線電通聯需反覆演練，目前僅單鏈路構建模式，容易因其中單一中繼台事故造成系統中斷，影響部隊機動或戰術位置變換期間通信暢通，⁸而本研究之無線電裝備可以改善上述缺失。

本軍策進作法

一、北西中南東異地同時通信

依據國家通信傳播委員會建置的「頻率資料庫查詢系統」所統計的4G基地台資

⁸ 吳永德，〈運用 37C 無線電機構建災害防救通連機制之研究〉《陸軍通資半年刊》(桃園)，第 120 期，陸軍通信電子資訊學校，民國 102 年 9 月，頁 42。

料(截至2018年2月25日)，全國各業者數量以中華電信21,947座最多，遠傳電信19,818座次之，台灣大哥大、台灣之星與亞太電信各以17,572座、10,461座及8,318座居第三、四、五，本資料尚不包含不需登錄的小型基地台或違法的黑站，⁹全台基地台涵蓋範圍如圖二十二。另外依據「財團法人電信技術中心」執行「106年上半年全國行動上網速率評量」，針對第三代行動通訊(3G WCDMA)及第四代行動寬頻(4G LTE)服務的電信業者進行行動上網速率量測之報告，量測期間為105年11月至106年3月止，受測對象為中華電信、遠傳電信、台灣大哥大、台灣之星電信及亞太電信等，區分定點量測及移動量測兩個部分。定點量測已完成全國7,851個量測點(含村里辦公室)戶外之上網速率量測；移動量測則完成全國22縣市主要道路、高速公路、快速公路、高鐵、臺鐵、臺北及高雄捷運等大眾運輸系統之量測，其結論為4G平均下載與上傳速率介於「46.98~60.83 Mbps及13.75~25.04Mbps」¹⁰之間。

圖二十二 全台基地台涵蓋範圍



資料來源：擷取自「頻率資料庫查詢系統」。

再者，截至2017年第1季全球4G用戶普及率，日本以88.78%拿下第一，南韓84.54%居次，瑞典為77.39%排名第三，新加坡及香港也擠進前五名，台灣則以55.45%，全球排名第13，勝過上百個比台灣提早推出4G服務的地區，¹¹顯見台灣已成為智慧城市。

⁹ 〈4G 基地台數量〉《小丰子 3c 俱樂部(Tel3c)》，<https://tel3c.tw/blog/post/20809>，民國 107 年 6 月 4 日。

¹⁰ 國家通訊傳播委員會，〈106 年上半年全國行動上網速率評量〉《財團法人電信技術中心》，民國 106 年 7 月 12 日，頁 2-10。

¹¹ 行政院數位國家創新經濟推動小組，〈4g 普及率年底拼全球十強〉《digi》，<https://www.ey.gov.tw/NewsContent.aspx?>，2016 年 11 月 24 日。

本次研究已獲得初步結論，只要有4G網路的地方無線電即可達成通聯。惟囿於人力、物力、經費及時間不足等因素，僅完成中壢至宜蘭之研究，若能善用台灣4G網路的高建設度及普及率，未來可以擴大研究，以南投玉山為中心點，分別在北部基隆、東部花蓮、南部屏東及西部澎湖或金門進行全台大串聯通信測試，將可進一步獲得更寶貴的實驗數據與通信參數。

二、研發HR93或37C專用轉載線

本次研究係以民用無線對講機為主，初步成果已符合預期可以延伸通信距離至無遠弗屆，再加上前述台灣4G網路之建設與普及率不斷成長，若能將本研究的概念引入HR3或37C無線電機研發專用的無線電訊號轉載線，將可提升國軍通資電能量，與現行無線電開設相比較，具有：

- (一)降低人力需求(僅1人開設)。
- (二)縮短架設時間(約1分鐘完成)。
- (三)訊號無死角(有4G網路即可通)。
- (四)無需考慮天線方向角度等優點。

更何況5G時代將要來臨，日前國家通信傳播委員會主任委員於2018年5月21日在立法院交通委員會中質詢時表示，台灣5G商用時程「不會比國際慢」力拼2020年商轉，可以想像的是其速度與效率將更勝4G數十倍至百倍。國軍不應該還停留在舊思惟或被資安政策綁死，如何整合軍公民營資源，提升國軍通資電戰力，是不可忽視的課題。因為對岸的假想敵中共在5G國際標準競賽的劇烈競爭中，展現了無比的決心與實力，投入強大的資源，動員國內最頂尖的人才，架構5G電信王國。中國移動日前宣布計劃在2019年搶先在大陸推進5G商用網路，比預計時程提早一年，中國在通資領域技術日益提升，已令美國擔憂，並將其定調為國家安全威脅，如此可見一般。

三、研發新式無線電機

孫子兵法有云「知己知彼，百戰不殆」，中國大陸是我國的假想敵。因此，平時就要知悉其軍民通信實力與技術達到何種層次，才能掌握機先加以反制或超越。在本次研究當中發現共軍在軍事通裝已研發一款「1187A型手持式超短波跳頻無線電機」(如圖二十三)，該裝備的特點為具備定頻的明密語、跳頻的明密語及短信編輯功能，另通信距離可達15公里，亦可配接10W功率放大器作為車載移動電台使用。反觀國軍HR-93手持式無線電機通信距離僅5公里，工作方式僅能定頻通信，不能與37C系列跳頻無線電機跳頻模式實施通聯，易遭通信上的干擾及截收等通信攻擊，進而影響通信安全，技術特性如表九。在民用通裝部分對岸商用技術已能生產一款具有無線電機的功能，又能當做行動裝置或手機使用的無線電機，更將「Zello」的對講機App納入其中做為宣傳銷售的標語。該設備無需搭載無線電訊號轉載線做訊號處理，將無線電機、行動

網路、手機與軟體等所有功能整合在一起(如圖二十四)，檢討國軍現役無線電機與共軍「1187A型手持式超短波跳頻無線電機」做比較，其在通信距離或跳頻速率上已遠勝於國軍HR-93及37C無線電機，國軍因引以為鑑。近期國軍刻正在研發指管App，參考上述研發一台整合HR-93無線電機、「Zello」對講機App及指管App功能的新式無線電機，來突破「通信距離」或「跳頻速率」都不如「1187A型手持式超短波跳頻無線電機」之困境。

圖二十三 共軍1187A手持跳頻無線電機



資料來源：軍橋網，〈PRC-1187A 型手持式短波跳頻〉《軍事信息化裝備網》，<http://www.81it.com/2010/1250/1351.html>，2010 年 12 月 20 日，(檢索日期：2018 年 8 月 20 日)。

表九 國軍與共軍無線電機比較表

項目 \ 國別	國軍	國軍	共軍
品名程式	CS/PRC-37C	HR-93	PRC-1187A
頻率範圍	30~87.975MHz	30~87.975MHz	30~87.975MHz
波道間隔	25KHz	25KHz	25KHz
預置波道數量	8 組	10 組	10 組
發射功率	低功率：0.01W 中功率：0.5W 高功率：5W	低功率：1W 高功率：2W	低功率：0.5W 大功率：2W
通信距離	低功率：500 公尺 中功率：5 公里 高功率：15 公里	短天線：3-4 公里 長天線：3-5 公里	低功率：5 公里 大功率：15 公里 可當車載移動台
定跳頻通信	定頻明/密語 跳頻明/密語	定頻	定頻明/密語 跳頻明/密語
跳頻速率	300 次/秒	無	500 次/秒

資料來源：作者整理。

圖二十四 UNIWA T301 2.45 吋 IP67/4G 安卓/Zello PTT/對講機



資料來源：無線電對講手機〉《科賽爾電子科技(Cwell)》，http://www.cwell-hk.com/products/UNIWA_T301.aspx，2017 年 2 月 16 日，(檢索日期：2018 年 5 月 16 日)。

四、資安政策之探討

在遵循資安政策部分有三個保密方式可以參考，其一為「Zello」對講機App，本身可以建立專屬的頻道，別人無法進入，且該頻道亦可再增設密碼隔離保護。再來是HR-93無線電機本身具有的加密機制，最後是與行動網路業者簽訂契約及保密條款，設定專屬的SIM卡及行動網路頻道使外人無法入網，業者最好是有國家參股經營的企業，例如中華電信。網域之開放審核必須經由軍方業管、業者承辦人及其專案經理級以上高階主管，三方共同審核無誤後始可加入。

結論

現代戰爭型態已由以往的「兵力」密集，轉為現代的「技術與知識」密集，人員素質及精密武器效能的提升，將成為發揮戰力的必要條件，面對此一趨勢，掌握時代脈動，破除陳規，開創新局，是國軍未來的必經之路。自蔡英文總統就任以來，即倡導「國防自主」的施政主軸，其中「國艦國造」、「國機國造」與「資安防護」等 3 大面向為施政目標。我國國防產業的建構與提升除了中科院與軍備局生產製造中心等單位鑽研軍事關鍵技術外，國防自主成敗的關鍵在於「軍民一體、共創雙贏」，更須發揮「全民總動員」精神，爭取全國各種產業支持，整合國內機械、材料、電子、通信、動力等產業技能，才能有效加速武器裝備研發與產製期程。更重要的是，全民皆應體認國家所受之威脅及武器裝備不易獲得，共同支持國防自主政策，齊心打造可恃戰力，使敵不敢輕啟戰端。

參考文獻

一、石世豪，〈業餘無線電監理作業〉《NCC NEWS》(台北)，第 10 卷第 1 期，中華郵

政台北雜誌社，中華民國 105 年 5 月。

- 二、國家通訊傳播委員會，〈106 年上半年全國行動上網速率評量〉《財團法人電信技術中心》，民國 106 年 7 月 12 日。
- 三、顏伶如，〈全球熱帶氣旋 70 年減速 10%豪雨肆虐〉《Worldjournal》，<https://www.worldjournal.com/5605537/article>，2018 年 6 月 7 日。
- 四、〈艾瑪已釀 10 死暴潮持續〉《華人今日網(Chinesedaily)》，https://www.chinesedaily.com/focus_list.asp?no=c88594.txt&lanmu=C04&readdate=9-12-2017，2018 年 9 月 11 日。
- 五、〈加強蘭潭隧道救災力〉《台灣好新聞(TaiwanHot.net)》，<http://www.taiwanhot.net/?p=401941>，2017 年 6 月 15 日。
- 六、〈高溫千度如煉獄!〉《東森新聞(Ettoday)》，<https://www.ettoday.net/news/20120507/44605.htm>，2012 年 5 月 7 日。
- 七、〈雪隧火燒車 2 死 25 傷〉《蘋果日報網(Appledaily)》，<https://tw.appledaily.com/headline/daily/20120508/34213016>，2012 年 5 月 8 日。
- 八、〈每日頭條：何謂中繼、頻率、頻差〉《kknews》，<https://kknews.cc/zh-tw/tech/38grv3y.html>，107 年 6 月 10 日。
- 九、〈4G 基地台數量〉《小丰子 3c 俱樂部(Tel3c)》，<https://tel3c.tw/blog/post/20809>，民國 107 年 6 月 4 日。
- 十、行政院數位國家創新經濟推動小組，〈4g 普及率年底拼全球十強〉《Digi》，<https://www.ey.gov.tw/NewsContent.aspx?>，2016 年 11 月 24 日。
- 十一、〈無線電對講手機〉《科賽爾電子科技(Cwell)》，http://www.cwell-hk.com/products/UNIWA_T301.aspx，2017 年 2 月 16 日。

作者簡介

簡民儒少校，中正理工學院專科 90 年班、後備動員管理學校正規班、國防大學理工學院電子研究所 103 年班。曾任排長、通信官、監察官、連長、教官；現任陸軍通信電子資訊訓練中心教官組教官。