

通資系統天線未來發展之研究 - 以美軍戰術型資訊網路系統天線為例

作者／王廣義士官長

提要

- 一、戰爭中各級部隊指揮所及通信中樞為敵攻擊之高價值目標，如何防護指揮所安全，不致遭受敵人偵蒐及攻擊，是軍事作戰中極為重要的議題。而各式無線電、微波通信裝備天線，為系統網路構連必要裝備，唯天線為訊號輻射源，極易使指揮所位置遭敵偵蒐、標定、破壞。因此，通資天線技術發展、運用方式與開設位置，皆為各國研究發展的重點。
- 二、因應戰場共同圖像與作戰節奏需求，天線發展似乎有些共同趨勢：提供寬廣且跨頻段的工作範圍、全向智能化多進多出的窄波束、支援移動通信的網路自組，藉此滿足各層級的各項資訊通信服務需求。
- 三、天線的運用主要是通信與偵測需求，有些需以隱蔽為之，有些則是誘敵為先，不論近端或遠端的天線設置，均須確保作業人員的安全，現以美軍戰術型戰士資訊網路(Warfighter Information Network-Tactical, WIN-T)為例，從中學習天線設置的運用思維與未來的發展趨勢。

關鍵詞：通資系統、天線、WIN-T。

前言

天線是主要電磁波的輻射來源，當敵運用電子偵察或測量設備時，天線設置的地點很容易被定位，集中且功率過大或是設置泛濫未加管制的電磁波輻射源，嚴重影響作業人員掩蔽、隱蔽的作為，使其易受敵的定向能或飛彈、炸彈攻擊等反制手段的干擾與威脅。若能妥善運用市場現有成熟的資通訊技術設置天線，除可達成通資支援任務外，並可提昇部隊戰力，確保人員作業安全。

通資系統天線概述

一、工作方式

通資系統為「指揮、管制、通信、資訊、情報、監視與偵察(Command, Control, Computers, and Communications, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, C⁴ISR)」運作的重要平台，在講求作戰快速機動的現代化戰爭中，無線傳輸為通資系統主要的運用方式，無線電通信的傳播媒介為：電磁波，而天線(Antenna)則是無線電傳輸主要

電能與磁能的轉換元件。

影響天線工作性能的臨界參考數據有很多，天線的型式、大小和形狀，可依：諧振頻率、極化、阻抗、增益、效率和帶寬、孔徑或輻射方向...等因素決定。另外發射天線還有最大額定功率而接收天線則有噪聲抑制參數，概列如下。

(一)天線長度

天線長度常採用電波波長二分之一或四分之一製作，例如：半波天線約為電波波長的二分之一，其電波週期四分之一處可獲得最大的電波電流，饋電處多在天線的中央，而四分之一波長天線的饋電處多在天線的底端。電波在空間的傳播速度近似光速，電波進入天線導體後，受到導體材質的影響而減緩其傳播速度，¹故天線的運用長度約為實際波長的 0.95 倍。

(二)極化方式

天線導體在通電後，會在導體的四周形成磁場，磁場的磁力線與天線導體的電力線，與彼此之間的作用平面垂直，且兩者亦與電波的行進方向成直角，天線電場的方向即為電波的極化方向。天線極化有兩種：圓型極化與線型極化(如圖一)。圓型極化細分右旋極化、左旋極化，圓型極化僅於少數的衛星天線。線型極化為常見的天線極化方式，天線導體在設置時與地平面平行，稱為水平極化；與地平面垂直，稱為垂直極化。因此，天線極化取決於天線設置時天線導體(桿)與地面形成的夾角關係。當接收與發射訊號使用不同天線極性時，可讓頻率重覆使用進而增加通信的容量，例如：衛星天線之雙極性(水平與垂直)接埠，其進行交叉波形隔離測試，典型隔離值的鑑別度至少需大於 30dB 以上。

(三)工作頻率

因戰術位置不同，所形成的通信距離需求，為無線電通信首要的考量因素，不同的頻段有不同的傳播特性，天線設置應考慮工作頻率的電波傳播特性，一般傳播路徑以天波、地波來考量，例如：HF 高頻天線運用時，以天波通信²路徑為優先選擇，線形天線於 45°角經由 F 層第一次天波跳躍的距離即可達 280~760 公里。VHF 特高頻以上的天線運用時，無法運用天波傳遞路徑，地波路徑以直接波(Line-of-sight, LOS)為主，信號可靠度較天波通信為高，運用線形天線即可獲得不錯效果，海平面通信距離受限於地球曲度，最遠約可達 58 公里。

(四)輻射功率大小

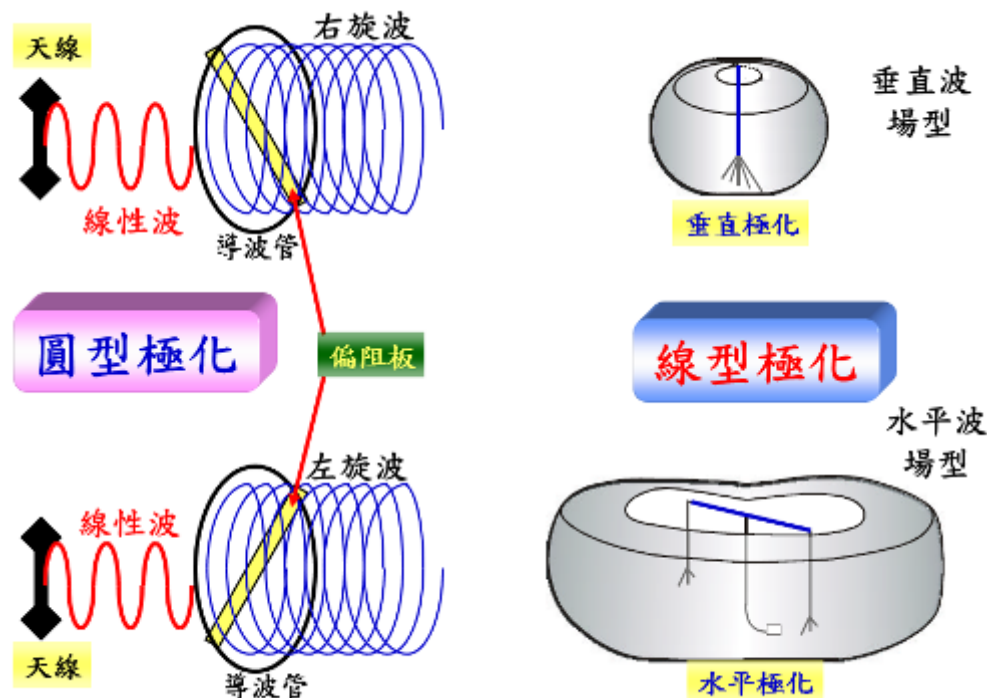
輻射功率大小與通信距離成正比，波長則天線導體相對較長，而天波通信需經由

¹ 黃華馨，《無線電學入門講座》，第三版（台北：無線電界雜誌社，民國 87 年 1 月），頁 10。

² 天波通信：指電波藉由「電離層」的反射、折射現象回到地面接收天線者；電離層分 D 層約離地 70~80Km，E 層約離地 100~125Km，F 層約離地 140~380Km，HF 高頻段多操作於 F 層，若入射角等於反射角，四十五度角之 HF 高頻天波通信距離約為 280~760Km。

反射返回地面需較大的輻射功率，以補償傳遞過程中的各項衰減與干擾，以保證信號可被接收，輻射功率約可達 100W 以上。地波通信中 VHF 特高頻段多為全向性天線，輻射功率約可達 50W 以上，UHF 極高頻波長短，天線導體也短，均以視線通信 LOS 為主要傳播路徑而受限地球曲度，輻射功率 10W 以下即可達成所需。

圖一 極化方式與線形天線輻射場型



資料來源：作者繪製。

二、種類與外形

(一)線形天線(Wire Antennas)

1.基本外形

一般以銅線、銅棒、銅管的外觀呈現，常見於波長 1 公尺以上，為最基礎也最簡易的天線種類，垂直極化時為全向天線，水平極化時為定向天線。

2.特殊外形

背負式無線電機的天線，為了方便收藏或攜行，天線長度較長時會使用魚竿天線，另外為使人員戰鬥運動時流暢，則會以銅片製成可彎折的鞭形天線，或是以銅線繞桿的短天線。當需要增加天線增益或方向性時，也會以陣列天線的設置方式來強化天線的增益，例如：八木天線...等。(如圖二)

(二)孔徑天線(Aperture Antennas)

1.基本外形

一般以中空的方銅管、圓銅管的外觀呈現，中空管前方有類似喇叭的開口，常

見於波長 10 公分以下的天線種類，天線具有極佳的方向性。

圖二 線形天線



資料來源：露天市集國際資訊，https://img.ruten.com.tw/s2/6/0a/d8/21303243641560_662.jpg，(2018/1/1)，2018/6/15；深圳市蒙恩通科技，<http://www.morentone.com/Data/morentone/upload/image/20180206/76.png>，(2018/1/1)，2018/6/15；Alpha Antenna. Powered by Zen Cart, http://alphaantenna.com/images/13_Foot_Alpha_EzMilitary_MilStick_Antenna_Whip.JPG，(2018/1/1)，2018/6/15；茂祐企業，<http://www.taiweb.com.tw/uploadimg/2012-03-17-13-VH-3088.jpg>，(2018/1/1)，2018/6/15。

2.特殊外形

當需要增加天線增益時，會在喇叭口前後適當的位置，設置反射網或反射板，利於集中波束或引導電波輻射方向。因為方向性極佳，亦可做成同頻段多孔徑陣列天線，可精準定位調整發射功率及波束方向，例如：雷達、衛星行動電話天線系統的基本天線...等。(如圖三)

(三)微帶天線(Microstrip Antennas)

1.基本外形

一般以印刷電路板、銅箔的外觀呈現，銅箔的面積與外形可以依需求適當的配置，常見於波長 1 公分以下的天線種類，具有輕、薄、短、小的方便性。

2.特殊外形

因為天線輕、薄、短、小，為了增加天線增益，常以陣列天線的方式設計，在經過適當的佈設後，在同一個基座上，天線可以支援不同頻段多個波束的形態，例如：地面行動電話系統基地台 4x4 多波束陣列天線...等，並以陣列天線的設置方式來強化

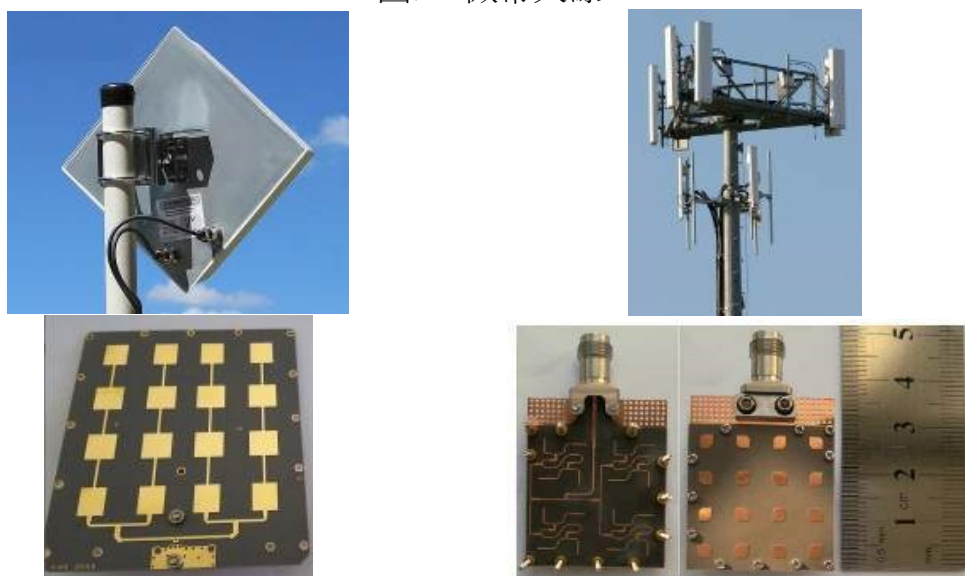
天線的增益，例如：八木天線...等。(如圖四)

圖三 孔徑天線



資料來源：〈嘉兆科技標準增益喇叭天線 QWH-SL-18-40-K-SG〉，<http://www.tnm-corad.com.cn/UploadFiles/img/2015/1/29/1444380.jpg>, (2015/12/31), 2018/6/15；Satcom ResourcesTM，https://www.satcomresources.com/pub/media/catalog/product/cache/926507dc7f93631a094422215b778fe0/9/0/90cm_1.jpg, (2001/12/31), 2018/6/15；Publisher: Christian Wolff, <http://www.radartutorial.eu/03.linetheory/pic/Rillenhorn.print.jpg>, (2018/6/15), 2018/6/15；茂祐企業，[http://www.taiweb.com.tw/uploadimg/2016-01-26-25-XA1327-2FT\(500X500\).jpg](http://www.taiweb.com.tw/uploadimg/2016-01-26-25-XA1327-2FT(500X500).jpg), (2018/6/15), 2018/6/15。

圖四 微帶天線



資料來源：MA Business Ltd Model makes antenna design orders of magnitude faster, <http://www.newelectronics.co.uk/article-images/118351/Model%20makes%20antenna%20design%20orders%20of%20magnitude%20faster.jpg?width=375&height=250&scale=canvas>, (2018/6/15), 2018/6/15；2003-2017 Taobao.com, http://g.search.alicdn.com/img/bao/uploaded/i4/i3/851567457/TB2KiAUXF95V1Bjy0FdXXc5BVXa_!!851567457.jpg, (2003/12/31), 2018/6/15；RP Companies, Inc., <http://rpcompaniesinc.com/wp-content/uploads/070726210108-large.jpg>, (2018/6/15), 2018/6/15；壹讀/READ01.COM, <https://i2.read01.com/SIG=30o0gsf/3048516447576a4a6b55.jpg>, (2018/6/15), 2018/6/15。



三、小結

天線可視為指揮官或部隊的突觸感官，為指揮官與部隊及敵軍之間，在互動(指揮與管制)及接觸(反制與反反制)時重要的單元。部隊戰術機動時，以全向性天線為主要考量，以確保信號可被遠端台接收，指揮所位置或部隊駐紮時，則應以定向性天線為主，以減低敵測向定位、通信洩密機率，並提高信號之可靠度。在戰場龐大情資需要快速傳遞的情況下，能支援低功率高增益，行動中高吞吐的天線系統，唯有「微帶型陣列天線」符合要求，亦是近年天線技術發展的熱門領域。

美軍戰術型資訊網路系統簡介

一、裝備沿革

1987 年美軍建置移動用戶設備系統(Mobile Subscriber Equipment, MSE)，以提升戰術通信網路的作戰支援能力，擁有更廣的信號覆蓋範圍、更好的糾錯能力和更高的數據容量，並能經由動態路由和交換服務，來滿足和填補作戰區到營級的戰術電話需求，我國亦在民國 87 年起逐步部署改良後的「陸軍戰術區域通信系統(Improved Mobile Subscriber Equipment, IMSE)」(以下簡稱陸區)，美軍在 1992 年「中東沙漠風暴」、2001 年「阿富汗持久自由」和 2003 年「伊拉克自由行動」等戰役中，發現 MSE 已經無法跟上戰鬥節奏，不足以支援現代數位化部隊，和高度「分散」和「機動」的戰場環境需求，「中繼塔」和「電纜」限制了任務範圍和靈活性。因此，美軍在 2002 年開始 WIN-T 系統的開發，以實現戰場上「機動中的指揮任務」。

二、系統架構

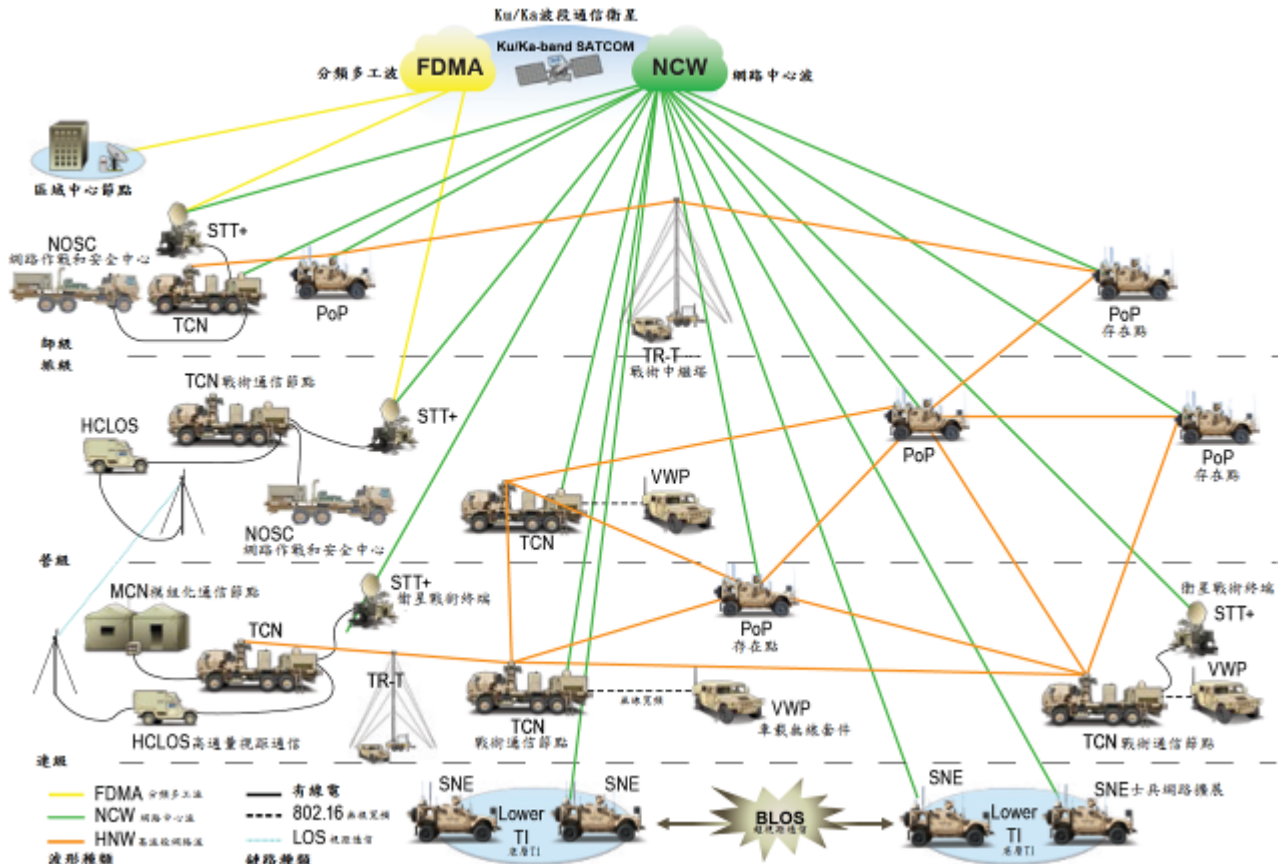
在 2012 年 10 月進行測試部署系統架構(如圖五)，提供師、旅級到連級的整合性戰術資訊網路，透過太空中軍用和商用衛星與地面視距無線電，提供各項通信和任務指揮系統所需的「數據通道」，以實現「端到端」和「動態網路」的連接與操作，達成各種移動資訊網的通信功能及基礎設施，支援協同作業、任務規劃和演練的應用程式，首次將移動式網路導入運用，分述如下：

(一)戰術通信節點(Tactical Communications Node, TCN)

如同「移動式基地台」部署在師、旅和營級單位為主要通信骨幹，能在靜止和移動中利用高波段網路波形(High-band Networking Waveform, HNW)地面視線鏈路和網路中心波形(Network Centric Waveform, NCW)衛星超視距鏈路連接到 WIN-T 系統的其他裝備，提供加密和非加密區域網路、網路電話、視訊會議和戰鬥網路無線電閘道(Combat Network Radio, CNR)。裝配在中型戰術輪車上，具有 10 米伸縮式桅杆，安裝 HNW 地面視線鏈路的扁圓形陣列天線與長距離高通量(Range Throughput Extension Kit, RTEK)延伸平板天線；車廂頂部另安裝 20 英吋 NCW 圓頂衛星通信天線；配賦

15KW 與 30KW 發電機。

圖五 現行 WIN-T 增建 2 階段的網路架構示意圖



資料來源：General Dynamics, Warfighter Information Network-Tactical Commander's Handbook, Version 2.0, GDMS July 2016, P.31.

(二)存在點(Point of Presence, PoP)

在師部部署 3 輛車，旅部 2 輛車和機動營部 1 輛車，另外各級指揮官也各有 1 輛，提供與 HNW 和 NCW 的連接網路，包括網路電話和一套任務指揮應用軟體，HNW 視線天線與 20 英吋 NCW 衛星通信天線安裝在車頂上方。

(三)士兵網路擴展(Soldier Network Extension, SNE)

將資訊網路從旅級延伸至連級，提供連級透過衛星通信系統收容和擴展被地形地物阻擋而分隔的班、排戰術無線電網路，NCW 衛星通信能在靜止和移動中連接到網路。可作為轉播車輛或進行單獨的無線電網路連接，提供更高層次的 POP 通信，包括網路電話和任務指揮應用軟體。具有 18 英吋 NCW 衛星通信天線，並能透過 CNR 開道來互連更短距離的傳統無線電。

(四)衛星戰術終端 Plus(Satellite Tactical Terminal+, STT+)

具有發電機可為 TCN 提供容量更高的衛星鏈路，或當固定式區域中心節點無法工作時，STT+可作為網路管理器。

(五)戰術中繼塔(Tactical Relay–Tower, TR-T)

旅級配賦 1 個 30 米的桅杆，提供中繼鏈路來延伸 HNW 視距通信網路範圍。

(六)車載無線套件(Vehicle Wireless Package, VWP)

套件提供非 WIN-T 指管車輛的遠端連接，可供無線連接到加密路由器網路或非加密路由器網路，透過本地 VWP 接入 TCN，達到 4 公里的要求範圍。TCN 可為搭載 VWP 的車輛提供「無線熱點」。而每個 TCN 有 2 輛配備有 VWP，是 TCN 衛星和地面網路系統的小型區域擴展網路。

(七)網路作戰和安全中心(Network Operations and Security Center, NOSC)

為硬體和軟體提供基礎架構，例如：網路操作(Network Operations, NetOps)和士兵網路管理及增強戰術網路規劃、管理、監控和應變功能所需的網路管理組件。硬體位於車輛上，從同地點的 TCN 獲取傳輸服務，透過戰術光纜連接到戰術作戰中心(Tactical Operations Center, TOC)整合通信官的網管筆記型電腦和大型顯示幕。

(八)模組化通信節點-基本(Modular Communications Node–Basic, MCN-B)

提供非加密路由器網路和加密路由器網路的「戰術光纜 TFOCA- II 」進入距離建制單位 1 公里遠的 TCN 帳篷和建築物內。

(九)區域中心節點(Regional Hub Node, RHN)

是固定式衛星地面站，美軍在世界各地有 5 個 RHN 正在運作。RHN 是為那些使用 WIN-T 的用戶提供長期的戰術通信和網路管理服務。每個 RHN 提供一個區域集線器升級套件，允許 RHN 支援 NCW 及 Ka/Ku FDMA 衛星通信頻率。每個現有的區域中心分區提供 8 個 NCW 調制/解調器，讓每個 RHN 有足夠數量的調制/解調器和傳輸頻寬支援三個師級和一個軍團指揮部。

三、天線技術特性

在 WIN-T 系統中，配合美軍各種無線電組網任務需求，可概分：網路中心波形天線、高波段網路波形天線、基本戰術天線；其中基本戰術天線可再細分：寬頻網路波形(Wideband Networking Waveform, WNW)、士兵無線電波形(Soldier Radio Waveform, SRW)、移動用戶目標系統(Mobile User Objective System, MUOS)、傳統戰術天線 SINCGARS(Single Channel Ground and Airborne Radio System)無線電與 EPLRS(Enhanced Position Location Reporting System)無線電...等。(如圖七)

(一)網路中心波形 NCW 天線

主要被運用於 WIN-T 與 JC⁴ISR(Joint Command, Control, Communications, Computers, Intelligence and Reconnaissance)無線電機，在 WIN-T 系統使用超視距衛星通信作為節點骨幹鏈路，具有支援軍用與商用衛星的 C/X/Ku/Ka 頻段。天線能在靜止與移動狀態下工作，提供自組網路、自動追蹤衛星、鏈路連結與網路流量最佳化功能，

外部為半圓或扁圓天線罩，內部為定向孔徑天線或微帶天線組成，以美國通用公司 20 英吋的衛星通信天線為例。

- 1.工作頻段：X/Ku/Ka 1/4 波長：1.03~0.24cm。接收頻率：7.25~7.75GHz/10.95~12.75GHz/19.20~21.20GHz。發射頻率：7.90~8.40GHz/13.75~14.50GHz/29.00~31.00GHz。
- 2.極化方式：線型/圓型
- 3.天線型式：定向，支援移動狀態中通信。
- 4.配置位置：配置於車輛頂部無遮蔽處。
- 5.傳輸率：靜止 TX-6Mbps/RX-12Mbps /移動 TX-1Mbps/RX-3Mbps。
- 6.通信距離：超視距。
- 7.發射功率：13~25W。
- 8.發射波束寬度(3dB)：4.9° / 1.3° / 2.7°。

圖七 WIN-T 系統主要天線

名稱 暨 頻段	超視距	視距							
	NCW 天線	HNW 天線			基本戰術天線				
		扁圓 天線	RTEK 天線	圓柱 天線	JTRS			SINCGARS	EPLRS
					WNW	SRW	MUOS	CNR	
	C/X/Ku/Ka	X/Ku	L/S/C	L/S	UHF	UHF	S/Ka	VHF	UHF
TCN	20 吋 3 軸	有	靜中通	有	有	有	有	有	有
PoP	20 吋 3 軸	有			有	有	有		
SNE	18 吋 2 軸	有			有	有	有	有	有
STT+	靜中通				有		有		
TR-T		靜中通	靜中通						
VWP				有				有	有



M-ATV Point of Presence



M-ATV Soldier Network Extension



Stryker Point of Presence

1 - Net-Centric Waveform Antenna
2 - High-Band Networking Waveform Antenna

M-ATV - Mine Resistant Ambush Protected (MRAP) All-Terrain Vehicle (M-ATV)



Tactical Comms Node



1



1



2



2

資料來源：(左)J. Michael Gilmore, “Warfighter Information Network-Tactical(WIN-T),” Director, Operational Test and Evaluation FY 2015 Annual Report, Operational Test and Evaluation Directorate of the United States Department of Defense, January 2016, P.155；(右)<http://www.thinkom.com/antenna-products/thinsat/commander/>；<https://www.ultra-tcs.com/>。

(二)高波段網路波形天線

主要被運用於 WIN-T 與 JC⁴ISR 無線電機，在 WIN-T 系統為長距離、高通量、網狀化的地面視距通信骨幹鏈路，具有支援軍用與商用的 L/S/C 頻段，天線能在靜止與移動狀態下工作，提供自組網路、自動追蹤移動節點、鏈路連結與網路流量最佳化功能，外部為扁圓、圓柱天線罩或平板，內部為微帶陣列天線組成，以 Ultra ORION X500 系列所需通信天線為例。

1.工作頻段：L / S / C；1/4 波長：5.56~1.50cm。收發頻率：1350~1850MHz / 1350~2690MHz / 4400~5000MHz。WIFI 網路：2.4GHz / 5.2GHz / 5.8GHz。蜂窩式行動電話系統：LTE-700MHz。

2.極化方式：線型。

3.天線型式：全向(扁圓、圓柱形)，支援移動狀態中通信/定向(平板)。

4.配置位置：配置於車輛頂部或 10 米桅杆(TCN)、30 米桅杆(TR-T)。

5.傳輸率：通道 200Mbps /系統 350Mbps。

6.通信距離：視距通信/地對地，點對點非聯網模式 45Km。

7.發射功率：+36dbm。

(三)基本戰術天線

主要被運用於旅級以下聯合戰術無線電系統的手持、背負、車裝無線電機，目的是讓傳統戰鬥網路無線電的語音(SINCGARS 無線電機或 EPLRS 無線電機)能與士兵無線電波形子網路連接，天線支援 UHF 頻段能在靜止與移動狀態下工作，常為線形天線或陣列天線，以美國通用公司聯合戰術無線電系統與移動用戶目標系統中的 PRC-155 無線電的運用天線為例。

1.工作頻段：HF / VHF / UHF；1/4 波長：3750~3cm。收發頻率：2~2500MHz。

2.極化方式：線型。

3.天線型式：全向，支援移動狀態中通信/定向(陣列)。

4.配置位置：配置於車輛頂部無遮蔽處/人員背負攜行。

5.傳輸率：2.4~384Kbps。

6.通信距離：手持 5Km /背負和車裝 10 Km /對星超視距。

7.發射功率：20W。

四、小結

因應戰場共同圖像與作戰節奏的需求，WIN-T 系統的天線發展似乎有些共同趨勢：提供寬廣且跨頻段的工作範圍、窄波束多進多出的智能全向、支援移動中通信的網路自組，以此滿足各層級資訊通信服務的各項需求。

本軍通資系統天線特性與限制

一、單波道無線電系統(如表一)

(一)174 系列無線電機

營級以上單位使用，限制為天線長度過長，機動時不利收納使用，幅射功率較大，容易成為敵偵蒐攻擊目標。

(二)37 系列無線電機

排級以上單位使用，限制為天線長度過長，機動時需下彎固定使用影響效能，需要設置中繼台轉發訊號，可運用 AMX-85 桅桿延伸通信距離，但不利部隊機動，幅射功率較大，容易成為敵偵蒐攻擊目標。

表一 單波道無線電系統天線特性

裝備項目	頻段	1/4 波長 (cm)	極化方式	天線型式	通信距離	發射功率
174 系列	HF 高頻	3750~250	線型	管狀/銅線	天波通信	中、高
37 系列	VHF 特高頻	250~85	線型	管狀	遠視距通信	低、中、高
GRC-406	UHF 超高頻	33~18	線型	管狀	視距通信	低、中

資料來源：整理自游祥榮，《AN/PRC-174、VRC-174、176 無線電機操作手冊》(桃園縣：陸軍教育訓練暨準則指揮部，民國 90 年 11 月 5 日)，頁 1-3；詹凱驊，《陸軍 37 系列跳頻無線電機操作手冊》，第二版，(桃園縣：陸軍教育訓練暨準則指揮部，民國 100 年 9 月 7 日)，頁 1-2；郭宗鑫，《GRC-406 對空機操作手冊》(桃園縣：陸軍教育訓練暨準則指揮部，民國 90 年 11 月 5 日)，頁 1-2。

(三)GRC-406 對空無線電機

各單位的空管組使用，限制為視距通信，運用於地對空通信，地對地通信效能不佳，明顯易受地形、地物影響。

二、多波道無線電系統(如表二)

表二 多波道無線電系統天線特性

裝備項目	頻段	1/4 波長 (cm)	極化方式	天線型式	通信距離	發射功率
CTM-218	UHF 超高頻	5~4	線型	網狀	視距通信	低
FM-200	UHF 超高頻	19~7	線型	偶極陣列	視距通信	低、中

資料來源：整理自林文山，《CTM-218/DX-15E 多波道機操作手冊》(桃園縣：陸軍教育訓練暨準則指揮部，民國 90 年 11 月 5 日)，頁 1-2；蔡嘉志，《FM-200/DX-15-60 多波道機操作手冊》(桃園縣：陸軍教育訓練暨準則指揮部，民國 90 年 11 月 5 日)，頁 1-2。



CTM-218/DX-15E 或 FM-200/DX-15-60 為後備旅或外離島防衛部使用，限制為視距通信，使用定向天線，且需要設置中繼台轉發訊號，容易受地形、地物的影響，運用 10 公尺桅桿延伸通信距離，無法在車輛機動時達成通連任務。配合上對下 A-B 端部署，A 端發射輻射源約達 3~5 個，每條鏈路提供約 2MB 頻寬，為地對地天線系統。

三、機動數位微波系統

旅、營級單位使用，數位微波機 TR-840 配賦微波天線為網狀方向性及全向性天線。全向性天線支援點對多模式，限制為視距通信，需要設置中繼台轉發訊號，易受地形、地物影響，運用 10 公尺桅桿延伸通信距離，無法在車輛機動時達成通連任務。發射輻射源較以往多波道無線電系統減少許多，每條鏈路最少提供 0.5MB 頻寬。

- (一)工作頻段：UHF 超高頻；1/4 波長：5~2cm。
- (二)極化方式：線型。
- (三)天線型式：網狀/管狀。
- (四)通信距離：視距通信。
- (五)發射功率：低。

四、衛星通信系統系統

旅級以上單位使用，天線區分靜中通天線與動中通天線，僅有車載終端配賦動中通碟盤式孔徑天線，可在車輛機動中進行通連，其餘均為直徑 2.4 公尺的靜中通天線，無法支援車輛機動中通連。系統不易受地形、地物影響，可達成超視距通信的需求，限制為 Ku 頻段，易受雨衰影響，電源穩定性要求較高，非陣列天線抗干擾能力較低。發射輻射源僅一個方向，每條鏈路依中頻調複機特性最少提供 0.128MB 頻寬。

- (一)工作頻段：SHF 極高頻；1/4 波長：0.6~0.5cm。
- (二)極化方式：線型(水平與垂直)。
- (三)天線型式：碟盤式孔徑天線。
- (四)通信距離：超視距通信。
- (五)發射功率：小於 10 瓦特。

五、陸軍區域通信系統(如表三)

軍團、旅級(含砲兵營)單位使用，區分：節點交換機 CCTS 或延伸交換機 CCES 均配置 LOS 多波道機，搭配 GRC-408E 或 TRC-9830 無線電機，發射輻射源達 2 個以上，限制為視距通信，需要設置中繼台轉發訊號，易受地形、地物影響，運用 25 公尺桅桿延伸通信距離，但無法在車輛機動時達成通連任務。無線電入口 RAP 以多路耦合器使多部 TRC-9830 無線電機共用 1 個天線；戰鬥網路無線電閘道，使用 37 系列無線電機；指揮所 DTH(Down the Hill)延伸鏈路 AN/GRC-224 使用 RT-1540 無線電機，上述天線均為地對地天線系統。

表三 陸軍區域通信系統天線特性

裝備項目	頻段	1/4 波長 (cm)	極化方式	天線型式	通信距離	發射功率
RT-1540	SHF 極高頻	0.5~0.4	線型	反射板	近視距通信	低
GRC-408E	UHF 超高頻	5~2	線型	網狀	遠視距通信	低
TRC-9830	VHF 特高頻	250~85	線型	管狀	中視距通信	低、高
	UHF 超高頻	3				低

資料來源：整理自周守義，《AN/GRC-224 無線電多波道機操作手冊》(桃園縣：陸軍教育訓練暨準則指揮部，民國 89 年 12 月 11 日)，頁 1-2；蘇建維，《節點及延伸節點多波道車廂操作手冊》(桃園縣：陸軍教育訓練暨準則指揮部，民國 95 年 11 月 8 日)，頁 1-3；覃自強，《RAP 無線電入口操作手冊》(桃園縣：陸軍教育訓練暨準則指揮部，民國 95 年 11 月 7 日，頁 1-3。

六、小結

目前現用無線電天線系統，多數仍然停留在支援頻段窄而需架設多組天線、波束單進單出，干擾訊號無法有效排除。其中機動數位微波系統的 TR-840 數位微波機天線支援點對多模式，陸軍區域通信系統的 TRC-9830 無線電機同組天線支援 VHF/ UHF 雙頻帶，可提供未來天線系統發展與建置的參考實例。

結論與建議

在面對現代戰場態勢變化快速、武器殺傷能力提升、訊息傳遞路徑繁雜，唯無線電的行動通信系統能有效支援分散、機動的戰術需求。高效能的無線電收發信機提供迅速、可靠、安全的傳輸通道，天線只是無線電系統的一部分(如圖七)，無線電收發信機的功能特性，決定了需要何種天線的支援。天線須能支接收發信機更寬的頻譜、使用更小的功率、精準的輻射方向及防止敵人的偵測，為未來通資系統天線發展與建置的基本要求，確保我各項通資節點的作業安全，發揮通資系統與部隊整合戰力。從上述美軍 WIN-T 系統或近年第五代行動通信系統的發展中，可預期未來的軍事行動通資系統是朝向快速、寬頻、多接的方向邁進，針對國軍通資系統天線，就建軍備戰及教育訓練發展，建議如下：

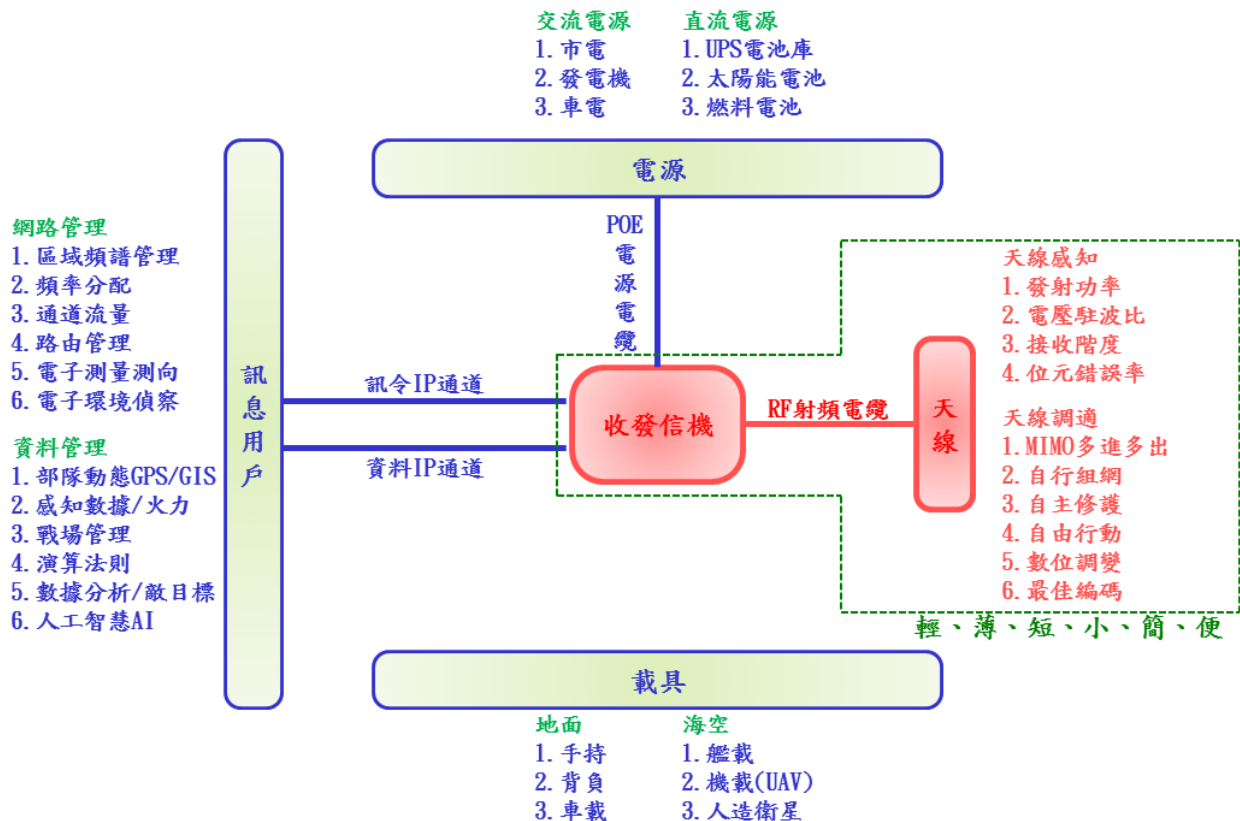
一、對通資裝備天線構型技術發展建議(如圖八)

(一)無線電收發信機及天線需支援寬頻數位調變與網際網路協定，內建路由器

1.先將各層級裝備全面「網路化」，例如：KY-2000A、RS-802F 為類比電話機，無法直接控制半雙工單波道無線電機的天線發射工作；KY-2000D 數位電話機與數位非保密語音電話機，需配合專屬交換機才能控制無線電發射機。兩者以 2 線式或 4 線式的 TX 與 RX 接線座(柱)與交換裝備連接，每部電話機都需要有單獨的用戶線路。網路電話機 IP-920P 僅需配合無線電語音閘道器 VE-PG3 即可控制無線電發射機。且物聯

網是未來的發展趨勢，也需要一個網路化的環境。

圖七 無線電系統架構圖



資料來源：作者繪製。

圖八 收發信機與天線構型技術發展趨勢示意圖



資料來源：(左)<https://www.harris.com>；<https://silvustechologies.com>；<https://gdmission.com>；<https://wiworld.tradekorea.com>；(右)<http://www.10tiao.com/html/694/201611/2652507664/1.html>。

2.無線電收發信機及天線次系統的「管理介面」，均需支援簡易網路管理協定(Simple Network Management Protocol, SNMP)有網頁式人機介面的遠端遙控功能，例如：CS/VRC-193C、TRC-9380 或 GRC-408E 無線電機。無線電機遙控的方式仍為特殊接座與規格，RS-232 與 RS-422 或 V.35，並非 IP 協定的介面規格，對未來無線電機的遠端遙控與無人電台的設置，均會受到限制。裝備管理如果能透過瀏覽器軟體以 SNMP 的介面方式，將可精準控制半雙工的無線電機天線發射源並可保證用戶訊號品質。美軍聯合戰術無線電系統無線電機，即具備支援多頻段的頻譜與數位網路管理功能。

3.最後以「路由器」為核心建立無線電系統，來達成端到端的目標，網路化後的無線電機，代表每部無線電機都是專一的鏈路，但不論訊號位於何處哪個頻段的天線出入口(HF/VHF/UHF/SHF/EHF)，最後都能透過網路交換器和路由器以多路繞徑的方式到達目的地，確實達成傳遞的要求，美軍 WIN-T 即是「網路節點」為中心的系統，主要節點具有：廣域網路通信節點和區域網路用戶節點，跨網域時以路由器橋接，同區域則由網路交換器連接。

4.不論廣域網路通信節點或區域網路用戶節點，軍事行動通資系統的天線，應採用陣列天線來達到波束多進多出的需求，來降低購置、架設與管理天線的成本，當需遠離天線發射源時，則運用戰術光纜 TFOCA-II 達 1 公里以上。

(二)陣列天線可多進多出能自動偵測選頻，支援智慧型無線電網路

1.用戶端可經由「多種天線多重路徑」到達目的地，例如：美軍 WIN-T 廣域網路通信節點依靠：地面寬頻無線電中繼系統、衛星通信、對流層散射通信、無人機通信、戰術光纖電纜等方式連接，形成了網路的主幹。區域網路用戶節點，則以「無線電熱點」與「戰術光纖電纜」為用戶提供網路入口，解決互通、帶寬、速度、入口等問題，實現各軍兵種部隊對戰場即時態勢的全面感知。

2.建置不同高度的中繼天線網路，包含：地面、海上、空中、太空，例如：美軍 WIN-T 戰術通信節點 TCN 車廂包含：長距離高通量網狀化的無線電中繼系統，通信距離約 45 公里，支援 3 個頻段(225~400MHz；1350~2690MHz；4400~5000MHz)，車廂提供 16~110Mbps 頻寬(由調複機能力決定)，多進多出矩陣天線組發射輻射面最少時只有 1 個，可為地對地(TCN-TCN)或地對空(TCN-無人飛機)天線系統。另外配置 STT+衛星通信尾車，天線直徑 2.4 公尺，支援 3 個頻段(X/Ku/Ka)，發射 3dB 波束寬度為 4.9° / 1.3° / 2.7° 與兩種多工存取方式，衛星通信尾車可提供 1~12Mbps 頻寬，無線電機的發射輻射面僅有 1 個，為地對空天線系統(TCN-WBS 與 TCN-AEHF)。

3.無線電系統主力逐步運用 UHF/SHF/EHF 頻段載波，保留少量 HF/VHF 頻段組，運用高效能的數位調變方式，例如：8-PSK、16-QAM...等，增加載波的位元載量與使

用效益，來建立高通量通信節點傳輸端的天線網，並減少使用低效能的天線輻射源。在無線電系統的工作頻率越高，波長越短，天線的設計與部署，窄、弱的波束更容易以微帶陣列天線來集波與輻射，增加天線的效益，達成多頻段、多波束、多進多出的要求，可降低輻射源面積與功率，減少被敵偵測定位的機會，提高戰場的存活率。

4.天線輻射源無可避免，運用 UHF/SHF/EHF 頻段，設計與部署高效益的微帶陣列天線，在現行無線電機均有接收信號強度的偵測機制，「微帶陣列天線」若結合計算機程式與演算法，將可依據收發兩端的天線狀況，自動調整發射功率來提高傳輸效益。輕、薄、短、小的微帶陣列天線，因為是由多個小型天線組成一個工作面，所以同時接收多個波束，也可以同時發射多個波束。

5.天線加入計算機的資料庫與演算法，變成智慧型天線，天線單元內嵌演算晶片管理頻段切換、波束聚合與方向維持的工作，再配合管理介面 SNMP 的方式，延伸外接至無線電機，運用微帶陣列來監控電波的輻射及接收狀況，配合無線電機自我調適的計算機演算法，適時的控制調整天線輻射場型，將可減少不必要的輻射功率與方向。微帶陣列天線面板中的不同小型天線針對收到的訊號，可經由後端的濾波器或計算機的頻率集，來辨別接收訊號的種類，進而排除敵人的干擾訊號，在先聽後發的訊號偵測功能，配合計算機演算法後將可自動避免吵雜的通道，並從可用的頻率資源中選出較佳的工作頻率，建立可靠的鏈路。最後，讓個別但相互連接的天線變成智慧型天線網路，當天線的接收信號可收集並提供資訊系統作為大數據時，能在網管伺服器的應用程式中，交換各地區各類無線電系統的頻譜使用狀況與蒐集、分析各項經由微帶陣列天線面板接收到的電子參數，將使作戰區內的頻譜管理運用更趨智能化，能避免重複或干擾的頻率，提供即時自反應、自調適、自分配的頻率參數，並提供後續本軍無線電頻譜管理與無線電系統規劃參酌。

(三)天線構型能全向支援行動通信並自動鏈結組網

1.天線需與無線電機結合，並達到重量輕、上下薄、左右短、體積小、操作簡單、攜帶便利、能靜能動的要求，方可有效支援未來各項作戰任務，建議例如：Ultra 公司 ORION X500 系列無線電機，重量 8.1kg 體積 16.3×30×28.7cm 可支援 2 進 2 出天線；SILVUS 公司 Stream Caster 系列無線電機，重量 0.91Kg 體積 12.7×10.16×2.54cm 可支援 4 進 4 出天線。

2.戰場上的機動性與存活率成正比，陸區節點車輛的自動戰鬥網路無線電機 CS/VRC-193C，如果訊息源(用戶)單元、接收發射單元、通信天線單元無法拉開距離，必須設置在同一個車輛上時，建議：車輛內部傳輸裝備配置，應具有支援動中通信的智能化無線電機網路，讓用戶可以隨時變換位置，不易被測向定位，並降低對固定中繼台的依賴，來增加無線電網路的用戶存活率。

3.自適應網狀化無線電系統，如果僅將各波段的無線電機視為資料連結的通道使用，那每部車輛上就應具有網路層的路由設備，配合路由優化的參數設定，將會運用附近及各項可能通道資源，來完成「端到端」的傳輸要求，進而降低對特定通道的依賴。

二、現行通資系統天線運用的建議

(一)善用「閘道器」整合及遙控單波道無線電天線

閘道器能整合類比用戶訊息來源的格式(語音、傳真、視訊、數據、感知器)，將其融入符合 IPv4 或 IPv6 協定的資訊網路上，伺服器(主機)、電腦或智慧型可攜終端裝置，均普遍具備 Ethernet 與 USB 接埠，若未來將用戶訊息來源裝備全面數位化及網路化時，則指揮所內的用戶席位，將可在指揮所內透過 IP 網路(CAT.5 網路線 100 公尺或戰術光纜 TFOCA-II 達 1 公里)，控制傳遞清晰的無線電信號，而無需將無線電機天線設置於指揮所附近。目前機動數位微波系統 CS/VRC-518 的無線電語音閘道器 VE-PG3，因具有 SNMP 介面可透過網路線與網路交換器，延伸與網路電話交換機 HVR-969 間的距離，操作手亦可在網內任何接入點，修改設定 VE-PG3 的資料參數，可透過網路電話機提供的即按即說(Push to Talk, PTT)的功能，提供指揮所任何席位的電話與遠端的無線電通連。

(二)以野戰數位微波系統整合各種鏈路天線

1.野戰數位微波系統為旅、營級重要的通資平台，建議野戰數位微波系統中應再增設 WAN 的網路交換機與現行 LAN 的網路交換機適當區隔，用以收容野戰數位微波系統、衛星通信系統、陸區系統、37 系列無線電機、加密式無線電熱點的各類鏈路天線，增加系統運用的彈性與靈活性。

2.設置的 WAN 網路交換機應結合路由器，用以管理各項系統的 IP 路由與經由各鏈路天線傳輸的資料流量及優先等級。

3.再優化野戰數位微波系統的網管系統軟體，使其除本身系統的鏈路天線參數管理外，再納入各項系統的鏈路天線參數，以靈活調配旅、營級網路流量。網管系統軟體應增設蒐整，各站台天線回饋的接收信號強度與位元錯誤率等數據，做為站台作業命令規劃時之參酌。

4.結合野戰數位微波系統從北到南的中繼骨幹鏈路天線，中繼節點應適當運用點對多及全向天線，以支援作戰區內隨時隨地的通信任務(如圖九)。

5.衛星通信系統天線具有移動通信的能力，但目前運用僅限於車頂即時影像傳遞，無法有效將頻寬分享給車隊，可嘗試以「加密式無線電熱點」的方式，來鏈結野戰數位微波系統，並完成車隊移動中通連的目的。

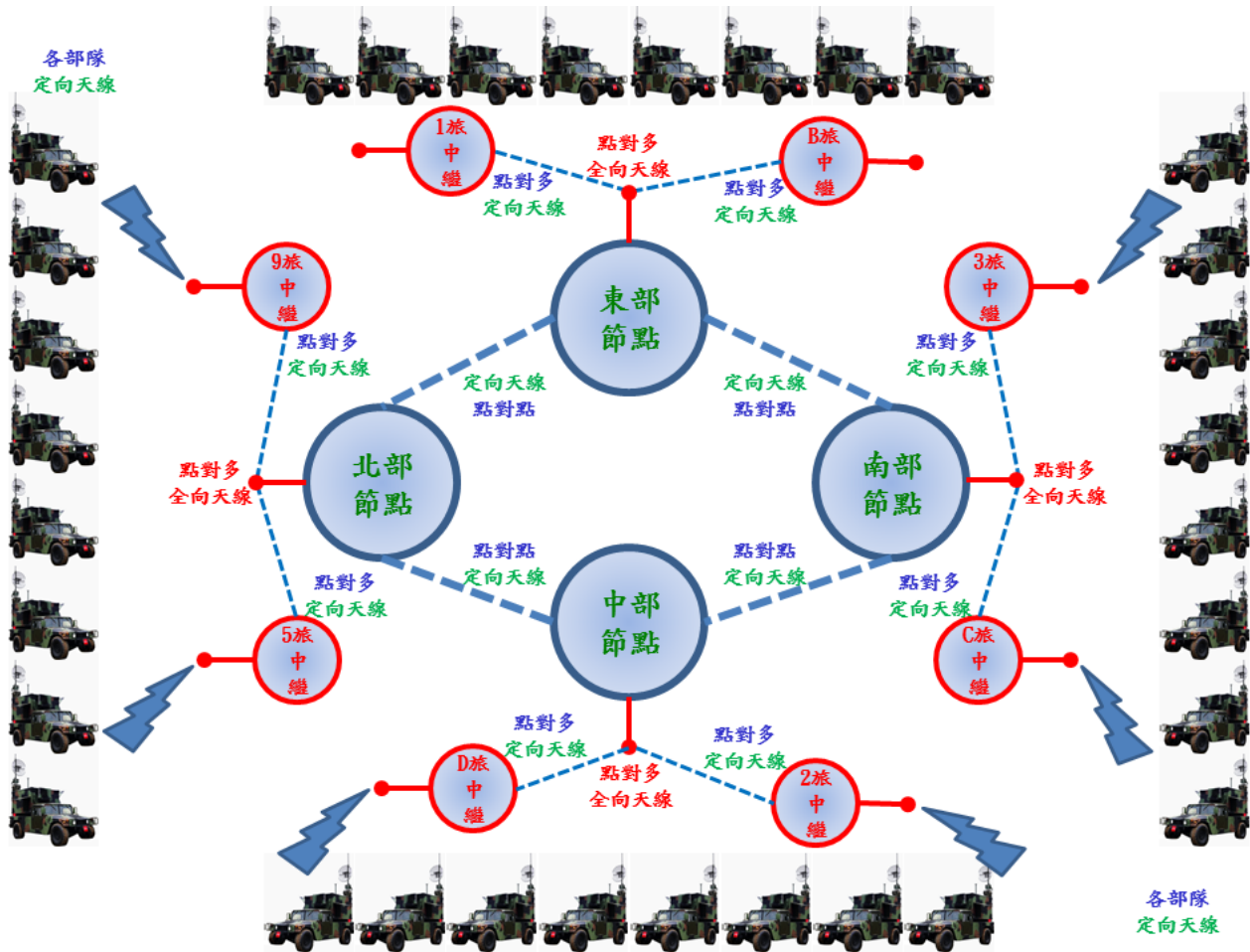
6.除了部署從北到南的高地中繼點外，37 系列無線電機配合中科院研發的無人飛

行載具進行中繼轉發的工作，藉此達成移動通信的需求。

(三)因應敵情威脅慎選天線設置地點

1.各站台天線的主要威脅，來自敵之測向、偵察的後續作為，例如：以美軍炸彈之母 GBU-43 半徑 2.7 公里的破壞範圍³、高速反輻射飛彈 AGM-88(射程 90~150 公里以上，殺傷半徑 30 公尺⁴)的精準度，均將影響電台作業人員與部隊安全，應納入並考量天線選用與設置地點。

圖九 野戰數位微波系統骨幹鏈路天線運用示意圖



資料來源：作者繪製。

2.減少天線輻射源，機動數位微波系統中繼車廂 2 部微波機配合約天線桿 2 組，終端車廂 1 部微波機配合天線桿 1 組，中繼車廂若採用點對多，無線電機的地對地發射輻射源較陸區系統減少許多，若再交互搭配整合運用衛星動中通車載終端的鏈路天線，預期將降低被敵偵測、定向的機率。

³路透社/法新社，〈炸彈之母爆萬呎蘑菇雲〉《香港_蘋果日報》，<https://hk.news.appledaily.com/international/daily/article/20031123/3681189>，(2003/11/23)，2018/09/14。

⁴壹讀，〈軍事知識-AGM-88 型哈姆高速反輻射飛彈〉《解放軍報社/中國軍網/軍事最前沿》，<https://read01.com/zPOJDKm.html#.W5s-QcZ-U0P>，(2017/08/24)，2018/09/14。

3.局部避免飛彈威脅，善用天線的射頻電纜，車載無線電機的收發信機與天線之間，配賦的射頻導線或電纜長度約為 5~58 公尺，在天線網的面積與天線桿的承載範圍內，無線電機與天線可適當的結合，除降低射頻線路傳輸時損失外，亦如 Ultra 公司 ORION X500 系列無線電機運用的網路線約為 70~100 公尺進行遙控，雖然受限導線或電纜長度及輸出功率，人員仍於車廂附近作業，但已可適當有效遠離天線輻射源。

4.全面避免炸彈威脅，善用 DTH 的概念，TFOCA-II 戰術光纜並結合 SNMP 的遙控管理方式，配置長度有 1 公里，部署需要花費一定的時間與人力，以當前敵情威脅防禦縱深與反應時間短淺而言，適合平時的部署。而 AN/GRC-224 無線電機曾經部署於陸區系統，可提供 CCTS 車廂和 LOS 車廂在 10 公里之間便捷靈活的連通，減少指揮所處位置的發射輻射源，工作頻率範圍是 14.50 到 15.35 GHz，發射 3dB 波束寬度約為 3° 內。現行可以衛星通信系統的可攜終端，配合機動數位微波系統 CS/VRC-518 車廂，即能實現相同的概念。

5.將天線設置收發分離，適當隱蔽與掩蔽指揮處所以欺敵，在固定地點開設時，善用目前資通電軍的環島光纜投落點及站台，除建立全島高地固定中繼點外，亦將接收天線與發射天線離隔 2 公里以上，並建立和納入作戰區內的網管中心，來強化監控、整合無線電頻譜與天線功率使用。

三、班隊教學及部隊訓練建議

(一)普及野戰數位微波系統無線電語音閘道器 VE-PG3 操作訓練，目前閘道器 VE-PG3 放置地點為野戰數位微波車廂。閘道器 VE-PG3 與無線電機的連接電纜僅約 1 公尺左右，易使背負式無線電機天線發射源與交換機車廂同處或不易運用更高功率的車裝無線電機，精進教育訓練時：

1.應納入遠端架設的方式，將閘道器 VE-PG3 與交換機 HVR-969 分隔 75 公尺以上，搭配無線電機所在位置架設閘道器 VE-PG3，再配合網路線連接至車廂交換機 HVR-969，以彈性靈活運用並遠離天線發射源。

2.閘道器 VE-PG3 設定，由於無線電機工作方式為半雙工，IP-920P 網路電話機工作方式為全雙工，加上傳播延遲與傳輸延遲，易造成功能不彰的感受。唯熟練點對點時網路電話機 IP-920P 的操作技巧方可避免此一刻板印象，發話鍵控制型式，應選為 DTMF 雙音多頻，預設*字鍵發射，#字鍵接收。如果將閘道器 VE-PG3 作為中繼轉換使用時，發話鍵控制型式，應選為 VOX 聲音控制發射；使指揮處所席位人員更願意使用桌面的 IP-920P 來操作遠端的無線電機，遠離天線發射源。

3.善用交換機 HVR-969 會談電話的功能，除可用以監控無線電網內通連狀況外，亦可適時提供不同無線電網間的中繼轉發。



(二)熟練野戰數位微波系統中繼車廂全向性天線點對多操作訓練，數位微波機 TR-840 提供點對點(定頻、跳頻)與點對多(1 對 8)型式的傳輸方式，精進教育訓練時，強化節點運用觀念。中繼車廂有定向性與全向性天線，在作戰區高處地點架設中繼台時，以微波機 TR-840 全向性天線設定為 1 對 8 型式，藉以收容作戰區內低處站台，中繼車廂之間以微波機 TR-840 定向性天線設定為 1 對 1 型式，以延伸並構成環島中繼網。

(三)在第三代實驗編裝有個功能類似 WIN-T 模組化通信節點-基本 MCN-B 機箱，運用「戰術光纜 TFOCA-II」進入距離 1 公里遠的通信節點帳篷或建築物內，可確保指揮處所或操作人員遠離天線輻射源，建議應推廣使用讓學員生明白戰場敵情可因應方式，並持續熟練戰術光纜 TFOCA-II 與模組化通信節點-基本機箱的運用，進而推廣到現行野戰數位微波系統或其他系統中。目前旅級野戰數位微波系統車輛內有 2 個機箱(1 個微波機/1 個網路語音交換機)均可拆裝移動至適當處所，機箱之間的連接距離受限於網路線特性，雖無法如同戰術光纜 TFOCA-II 延長至 1 公里的距離，但若建立學員妥善運用模組化通信節點-基本機箱的觀念，將微波機、語音閘道器的 37 系列無線電機與交換機用戶設備適當隔離至安全距離，相信對未來建軍備戰部隊戰力保存定有裨益。

(四)持續 37 系列無線電機遙控器 RM-2000 操作訓練，37 系列無線電機的天線種類，有背負、車載與桅桿等三種。背負或車載均可在機動中作業，可隨時變換戰術位置，桅桿天線 AMX-85 可獲得較佳的天線增益。但受限於架設特性，架撤地點變換不便，容易成為敵人攻擊目標，精進教育訓練時應灌輸學者配合運用遙控器 RM-2000，使指揮操作處所遠離天線發射，在條件資源充足時應考慮將接收天線與發射天線分開架設。

參考文獻

- 一、周守義，《AN/GRC-224 無線電多波道機操作手冊》，第 1 版(桃園市：國防部陸軍司令部，民國 89 年 12 月 11 日)。
- 二、周守義，《陸軍戰術區域通信系統多波道裝備 30 公尺天線操作手冊》，第 1 版(桃園市：國防部陸軍司令部，民國 90 年 7 月 30 日)。
- 三、羅際廷，《陸軍節點及延伸節點交換機車廂操作手冊》，(桃園市：國防部陸軍司令部，民國 106 年 10 月 23 日)。
- 四、蘇建維，《節點及延伸節點多波道車廂操作手冊》，第 1 版(桃園市：國防部陸軍司令部，民國 95 年 11 月 08 日)。
- 五、覃自強，《RAP 無線電入口操作手冊》，第 1 版(桃園市：國防部陸軍司令部，

民國 95 年 11 月 07 日)。

- 六、陸軍通信電子資訊訓練中心，《陸軍 CS/VRC-518 機動數位微波系統訓練手冊》，第 1 版(桃園市：國防部陸軍司令部，民國 104 年 11 月 11 日)。
- 七、孫志萍，《戰術區域通信系統教範》，第 1 版(桃園市：國防部陸軍司令部，民國 89 年 12 月 18 日)。
- 八、林育生，《多波道電子通信訓練教範》，第 1 版(桃園市：國防部陸軍司令部，民國 93 年 9 月 10 日)。
- 九、陸軍通信電子資訊訓練中心，《陸軍衛星裝備操作手冊》，第 2 版(桃園市：國防部陸軍司令部，民國 105 年 10 月 31 日)。
- 十、General Dynamics, Warfighter Information Network-Tactical Commander's Handbook, Version 2.0, GDMS July 2016.
- 十一、U.S. Army Signal Center and Fort Gordon, "Army Communicator. Voice of the Signal Regiment.," PB 11-08-3 Vol.33 No.3, Summer 2008.
- 十二、Director, Operational Test and Evaluation, Warfighter Information Network- Tactical (WIN-T)Increment 2, Second Follow-on Operational Test and Evaluation, May 2015.

作者簡介

王廣義士官長，陸軍通信電子學校技常班 32 期(80 年班)、陸軍通信電子學校士官高級班 2 期、陸軍專科學校士官正規班 13 期，曾任助教、管制士、修護士、教官，現任陸軍通信電子資訊訓練中心通信電戰組教官。