

行動通信技術發展對軍事應用之研究

海軍中校 李建鵬 空軍少校 葛鑑霆

提 要

- 一、1991年波灣戰爭開啟現代化軍事科技作戰思維，從早期大規模毀滅傳統作戰轉變為資訊化的作戰概念。國軍面對臺海的作戰環境、軍事威脅及軍事作戰型態改變，在有限資源下應建立不對稱作戰能力，為當前建軍備戰的重要方向。
- 二、現今智慧型手機可為行動通信發展快速之代表，其帶給人們的是方便、可靠性高等應用體驗，反觀我軍事通信技術卻未與時俱進、相對落後，故在軍民融合發展的構想下，將民用行動通信技術結合軍事領域的應用，實具重大意義。
- 三、本文剖析民用行動通信科技發展與美國軍事應用情況，藉以反瞻民用行動通信技術用於我國軍事通信領域之可行性，進而探討現階段國軍如何運用行動通信技術以強化指通能力，俾為提升整體軍事通信能力之建言與參據。

關鍵詞：不對稱作戰、軍民融合、行動通信、軍事應用。

前 言

西元1944年，第一個商用行動通信系統是運用於計程車的對講機，但真正普遍運用則是在1982年開始的行動電話服務，¹相關行動通信服務發展至今，已普遍運用於全球，其市場快速成長，帶給人類行動通信之便利。近年各國電信業者積極投入行動通信網路基礎建設，將網際網路服務普及，配合智慧型手機的發展進步，提供消費者多元媒體存取及更完善的服務品質，帶動全球通信設備及服務市場大幅擴張。行動通信已然成為全球通信產業中規模最大之產業之一，各國政府為促進其健全發展，亦制訂了頻譜運用及營運執照等相關規範制度管制電信業者。²

通信科技為人類藉由通信系統與人溝通的橋樑，在現今科技發展下，通信得以不受距離限制，甚至利用無線傳輸的能力，更可以突破地形障礙，近年來更由於電信自由化的效益逐步發酵，在資訊通信網路上的應用發展，傳統電信網路(Telecommunication Network)上所提供的語音(Voice)服務、視訊廣播(Video Broadcasting)服務，以及點對點的數據(Data)傳輸交換服務，逐步改採網際網路協定(Internet Protocol, IP)朝多媒體匯流服務發展。

行動通信技術發展暨應用探討

系統化商轉之行動通信可追溯到1982年啟用的行動電話服務系統(Advanced Mobile

1 蘇俊吉，「行動通信的演進歷程」，科學發展期刊，第513期(2015年9月)，頁68-73。

2 李鴻裕、虞孝成，「寬頻無線通訊技術LTE與WiMAX之競爭」，中華管理學報，(2009年12月)，頁67-90。

Phone Service, AMPS)，行動電話服務系統蘊含著數不清的關鍵技術，尤其以3G到4G的演進，其背後涉及的通信標準、專利技術也是日新月異，傳輸速度成長可謂一日千里。³

一、行動通信G世代的演進

所謂「G」就是「世代(Generation)」的英文簡稱，每個「世代」的區別由國際標準組織「國際電信聯盟 (International Telecommunication Union, ITU)」和「第三代合作夥伴計畫(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)」予以定義，⁴概述如下：

(一)第1代(1st Generation)行動通信

1G是第1代行動通信的簡稱，最早起源於美國貝爾實驗室。為讓人們在行動時也能達成通信聯絡的產品，屬於類比式行動電話系統，並具電話系統的用戶選擇及交換功能。⁵類比式行動電話系統提供的訊號不穩定、通信保密性差，部分無線對講機只要調整至相同的頻率，就可以竊聽到他方通話內容。由於第1代行動通信手機尺寸、重量都很大，價格也不便宜，未獲人們普遍運用。

(二)第2代(2nd Generation)行動通信

1G行動電話系統以類比訊號進行語音傳輸，存有較多雜音跟串(迴)音的問題，因此通信界開始著手研發新一代行動通信技術。1980年代後期，隨著大規模積體電路、

微處理器與數位訊號的成熟發展，使得研發主力逐漸轉向了數位通信技術，行動通信進入2G時代。⁶其核心技術分別包括由歐盟主導之分時多工存取(Time Division Multiple Access, TDMA)技術為基礎的全球行動通信系統(Global System for Mobile communications, GSM)及由北美地區少數技術團隊主張採分碼多工存取(Code Division Multiple Access, CDMA)技術的2G行動電話系統。

2G通信系統採用3級網路架構，分別為「基地台(Base Transceiver Station, BTS)」、「基地台控制器(Base Station Controller, BSC)」及「核心網」。系統主要採用一體式基地台架構(如圖1)，基地台的天線位於鐵塔上，其餘部分則建置於鄰近的機房內。一體式基地台架構需要在每一個鐵塔下面建立一個機房，天線通過饋線與室內機房連接，建構成本大且耗時，亦不易網路架構的拓展。

(三)第3代(3rd Generation)行動通信

第3代行動通信技術是指支援高速資料傳輸的蜂巢式行動通信技術，能夠同時傳送語音及數據，主要採寬頻分碼多工存取(Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA)技術，⁷達成服務多樣化、價格低廉、全球漫遊、頻譜利用率高等基本需求。發展3G網路架構時，為減少成本，主要採用

3 「1G 到 5G 的艱辛歷程：一部波瀾壯闊的行動通訊史」(STOCKFEEL)，<https://www.stockfeel.com.tw/1G>到 5G 的艱辛歷程：一部波瀾壯闊的行動通訊史，(檢索日期：2020年12月10日)。

4 劉辰岫，「技大觀園 3G、4G、5G？行動網路與生活」(科技大觀園)，<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s90u.htm>，(檢索日期：2019年12月19日)。

5 周瑞瓊、張新民，「我國行動電話發展史檔案應用」，檔案季刊，10卷2期(2011年6月)，頁38-57。

6 同1。

7 「什麼是WCDMA」(MBA智庫百科)，<https://wiki.mbalib.com/zh-tw/WCDMA>，(檢索日期：2019年12月19日)。

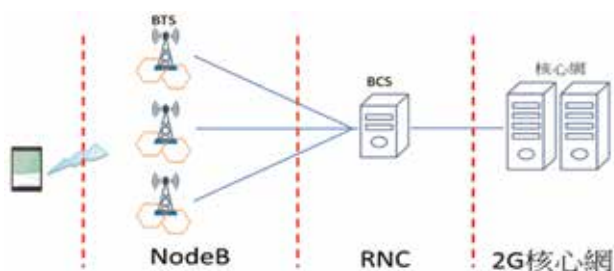


圖1 第2代行動電話系統示意圖

資料來源：作者自行繪製。

分散式基地台架構，其架構基本與2G相同，3G系統同樣採用3級網路架構，即包含基地處理單元(Building Baseband Unit, BBU)和遙控射頻單元(Remote Radio Unit, RRU)之「節點B(NodeB, NB)」、「無線網路控制(Radio Network Controller, RNC)」及「核心網」(如圖2)。

(四)第4代(4th Generation)行動通信

第4代行動通信技術是3G之後的延伸，依據國際電信聯盟(ITU)提出的4G基本技術要求是在行動狀態下達到速率為100Mbit/s，靜態和慢速行動狀態下達到速率為1Gbit/s。4G時代為了降低端到端延遲，將其網路架構扁平化，使得原來的3級網路架構減少為2級，

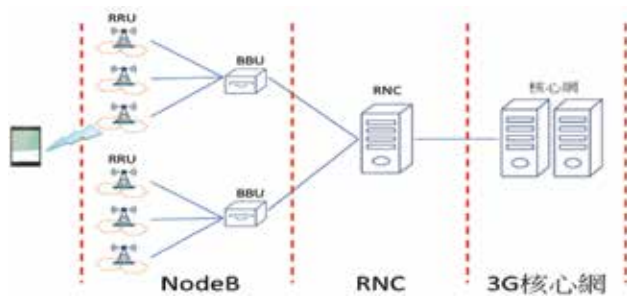


圖2 第3代行動電話系統示意圖

資料來源：作者自行繪製

包含整合節點B與RNC功能的「演進節點B(eNodeB)」及「核心網」(如圖3)。

(五)第5代(5th Generation)行動通信

5G行動通信是最新一代蜂巢行動通信技術，也是將2G的GSM、3G的UMTS、LTE及4G的LTE、WiMax系統技術延伸。不僅是新一代行動通信技術，更是一種新的網路、經濟和社會發展基礎設施，當前基於全IP的第4代LTE網路已成為日常生活的一部分，而5G行動通信更考量了無線傳輸速率，頻帶寬、覆蓋範圍和連接性的增加幅度，同時大幅降低往返延遲和能耗。⁸

5G行動通信系統採用3級的網路架構，即「分散式單元(Distributed Unit, DU)」、「集中式單元(Centralized Unit, CU)」及「核心網」。系統中的DU和CU組成稱為gNB(Next Generation Node B)，每個CU可以連接1個或多個DU，提升5G行動通信系統的靈活性，更可以滿足不同通信場景及需求(如圖4)。

綜上，觀察行動通信發展歷程，約略每十年有一次重大變化，每一世代都有其代表

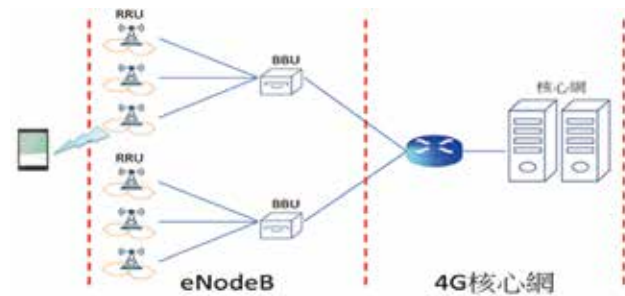


圖3 第4代行動電話系統示意圖

資料來源：作者自行繪製。

8 M. Agiwal, A. Roy, N. Saxena, "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey", IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, Vol. 18, No.3, 2016, pp.1617-1655.

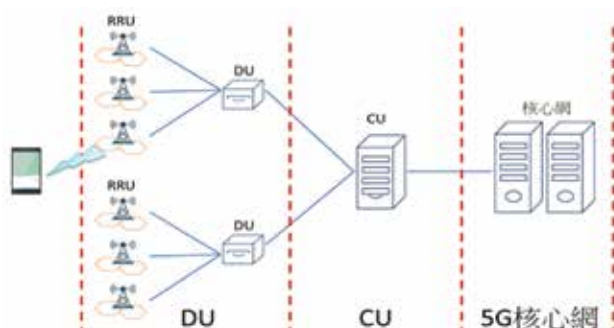


圖4 第五代行動電話系統示意圖

資料來源：作者自行繪製。

之關鍵技術，近年行動通信技術發展更優先考慮了超高數據傳輸速率、超高系統容量、超低延遲、大規模設備連接以及低能耗等要求。⁹隨著行動通信不斷進化革新與多媒體時代的來臨，其關鍵技術不斷的發展，由電路到封包的交換、類比到數位訊號的處理，使得行動通信能運用效能越來越高(如表1)。

表1 行動通信系統的功能與發展

	1G	2G	3~3.5G	4G
發展時間	1980	1991	2001	2008
特點	保密性不佳，系統容量受限，無法傳輸數據資料	保密性佳，系統容量可擴充，可傳輸數據資料	支援影像電話及影音多媒體服務	具體實現高數據傳輸速率
代表標準	美規AMPS	歐規GSM，TDMA，IS95 GPRS，i-mode	IMT-2000(WCDMA，cdma2000)	4G (IMT-Advanced)
頻寬	30kbit/s (Pointfrequency)	0.3~1.25Mbit/s (Narrowband)	5Mbit/s (Wideband)	10~100Mbit/s (Brondband)
多重進接技術	分頻多工 FDMA	分時多工 TDMA	分碼多工 CDMA	正交分頻多工 OFDMA
蜂巢涵蓋範圍	大	中	小	微小

9 Keisuke Saito, Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, "5G Radio Access Technology", NTT DOCOMO Technical Journal, Vol. 17, No.4, 2016, pp.16-28.

10 陳克任，「通訊系統-4G基礎通訊」，(高立圖書有限公司，2008)，頁16-21。

核心網路	電(信)話交換網路	電(信)話交換網路	電(信)話交換網路及IP網路	IP網路
服務模式	語音	語音、數據	語音、數據、多媒體	多媒體
功能	地面通信	地面通信	地面通信、定位	通信(包含衛星通信)定位控管
終端資料速率	≤9.6 kbit/s	≤5.6 kbit/s	≤2 Mbit/s	≤10 Mbit/s
技術特徵	類比訊號處理技術	數位訊號處理技術	智慧型訊號處理技術	多功能整合技術
收送資料服務	類比語音電話	類比語音電話、數據、簡訊	數位語音電話、簡訊與寬頻數據	全IP化網路服務
缺點	頻譜使用效率很低、通信安全性低、語音訊息差	數據接取速率低	專用的行動通信網路架構及通信協議效能較差	即時直播頻譜效率與頻寬有延遲

資料來源：作者自行整理。

二、資訊網路技術推展助力

資訊科技快速發展使得傳統電信網路化的結果同時也帶動了行動通信應用之蓬勃發展。在4G科技發展時期，發現全行動IP(all mobile IP)是當今網路發展的趨勢，基於共同的網際網路協定(Internet Protocol, IP)平臺，使不同的網路和技術可以輕易相容，使未來行動通信成為真正基於IP的多媒體寬頻無線存取系統。¹⁰逐步改採網際網路協定朝多媒體匯流服務發展，即單一化的核心網路支援多型態的接取網路、整合化服務平臺、支援跨平臺互通性、終端設備連網化、功能整合化、同一終端設備可以呈現多樣化的內容服務等型態。

這些新型態的服務內容，相對應也帶動資訊系統及網路結構的變革，變革的趨勢包括：介面及終端設備IP化、主機虛擬化、運算雲端化、資料巨量化、網路虛擬化、訊息(含語音)交換封包化、服務分級化等改變。而對於今日網路通信運用趨勢及網路結構的改變，對於傳統跨於地面纜線、光纖或寬頻無線電傳輸系統(如微波)所建構的鏈路層之傳輸控制協定(TCP)及網際網路協定(IP)之數據資料分層傳輸結構(如圖5)在應用上逐漸面臨使用彈性限制、傳輸頻寬不足及傳輸效能(如交換延遲、透通等)無法滿足需求等問題。

隨著寬頻接取(Broadband Access)技術的不斷升級，傳統壁壘分明必須在鏈路層及網路層運作的TCP/IP協定，已經可以在實體(如雙絞線、同軸電纜、光纖等)或無線電架構的傳輸網路直接運行(如圖6)，提供高頻寬、高彈性、低延遲、快速接取的網際網路服務。

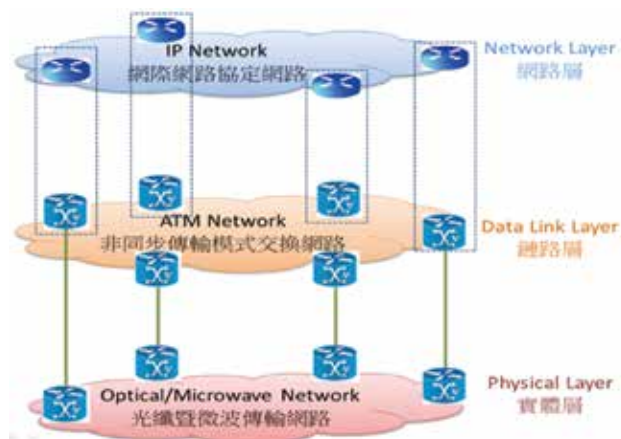


圖5 傳統電信(Telecom)資訊服務架構

資料來源：參考資策會團隊提供資料，作者彙整製圖。

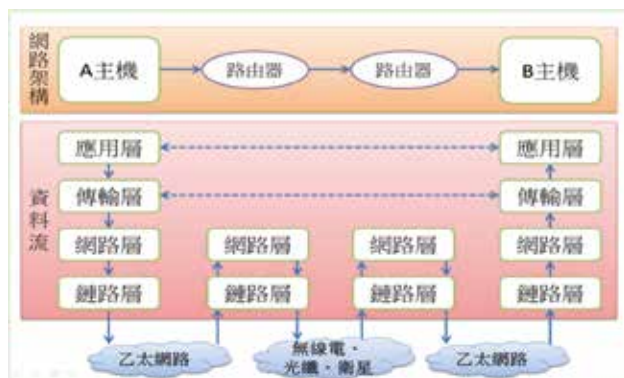


圖6 資訊技術(IT)網路服務架構

資料來源：參考資策會團隊提供資料，作者彙整製圖。

路服務，此類具服務品質(Quality of Service, QoS)管理、以網際網路架構為基礎的寬頻(Broadband或Hi-Band)傳輸網路，成為新一代網路規劃的主要方向。

三、通信網路對指揮管制系統之關係

指揮管制系統英文名稱為C4ISR，它是由指揮、管制、通信、資訊、情報、監視和偵蒐(Command、Control、Communications、Computers、Intelligence、Surveillance、Reconnaissance)等七個英文單字縮寫而來，¹¹指管系統可提供作戰部隊有效的戰場即時情資，可充分提高作戰指揮與管制的效能，在現代高科技環境下，指管系統儼然為各國軍事作戰之大腦與神經中樞，連結著中繼通信設備及終端用戶，而行動通信網路即為我人體的神經脈絡，作戰時各大系統均透由通信網路交換情資並下達各項指令，當這網路脈絡中斷時，將使我整體作戰效力無法發揚。

當前與資訊化作戰相輔相成的C4ISR系

11 陳國輝，「共軍組建信息保障基地意涵」，展望與探索，第8期(2010年)，頁21-25。

統在戰爭中的地位和作用變得越來越重要，然而現有軍事通信系統發展緩慢，仍主要依靠高頻、超高頻等窄頻通信技術，已無法有效滿足C4ISR系統對戰場大量資訊即時高效可靠傳輸的需求，迫切需要引進新技術以加快實現軍事行動通信系統的高速化、寬頻化與網路化發展，以取代舊有的、受限的有線網路。2003年的伊拉克戰爭即是美軍以網路中心戰一次完美的展示，戰爭將感測器、武器載台經網路系統連接在一起，實現資訊共享、共同感知態勢、同步行動，非僅於戰爭大獲全勝外，其人員傷亡更是不超過300人，在「美軍網路中心戰案例研究」一書中，對此戰役所採用的網路中心戰的進行分析和研究，證實在作戰期間確實提升了部隊的作戰效能，表明網路化的資訊對部隊作戰能力，戰場空間協調同步，指揮官和參謀的判斷決策，部隊作戰殺傷力、生存力以及力量運用的靈活性和作戰節奏，都具有深刻影響。¹²

我國軍指管系統現行以實體網路為主要傳輸手段，並僅以受頻寬限制的衛星通信予以備援，¹³於戰時則以車載式通信中繼台來彌補中斷的通信網，但此舉需成對的收發裝備來組網，且須完成與固定電臺實體電路接續作業，導致該作業時間冗長且機動性受限地形，致使我備援手段及運用彈性受限，無法有效支援各項任務，經探討一再顯現行動

通信科技發展在民間與軍事上存在的巨大差異，值得我們加以省思。

軍事領域應用探討

一、民用與軍事行動通信發展比較

在民用行動通信技術快速發展的同時，傳統軍用通信系統跟民用無線通信技術的傳輸速率差異日漸擴大。於2011年11月7日至10日在美國的軍事通信會議(MILCOM)中提及，快速發展的商用標準和美國軍事無線電系統在峰值資料速率上的差距(如圖7)，於2020年民用行動通信系統速率(LTE，最高速率1Gbps)將是美軍用通信系統(JTRS，最高速率23Mbps)的50倍。¹⁴故對比民用行動通信科技，發現軍事通信龐大的資訊傳輸需求，可藉由民用行動通信的關鍵技術來加以解決。與此同時，伴隨著民用通信市場投入的資金成長及國防經費無法按照相同比例增長等情況下，如不將民用行動通信技術融入軍用通信系統中，兩者間差距將會越來越大。

傳統的軍事通信系統是以安全性認證、低攔截率、抗干擾性以及跳頻網路作為設計基礎，與商用系統設計、部署大不相同，美國國防部正在積極探索如何在其任務中更有效安全利用這些商業系統、技術及其創新與應用，設想使用諸如智慧手機和平板電腦之類的無線終端來應用於各種作戰或救災場

12 「美軍網路中心戰」(每日頭條)，<https://kknews.cc/military/y8g8rpk.html><https://kknews.cc/military/y8g8rpk.html>，(檢索日期:2021年3月1日)。

13 林長青，「行動通信技術支援空軍指管系統傳輸徑路之研究」，國防大學管理學院國防管理戰略班108年班軍事專題研究(2019年6月)，頁11。

14 A. R. Hartman, M. J. Beacken, D. J. Bishop and K. L. Kelly, "4G LTE wireless solutions for DoD systems". 2011 Military Communications Conference, 2011, pp. 2216-2221.

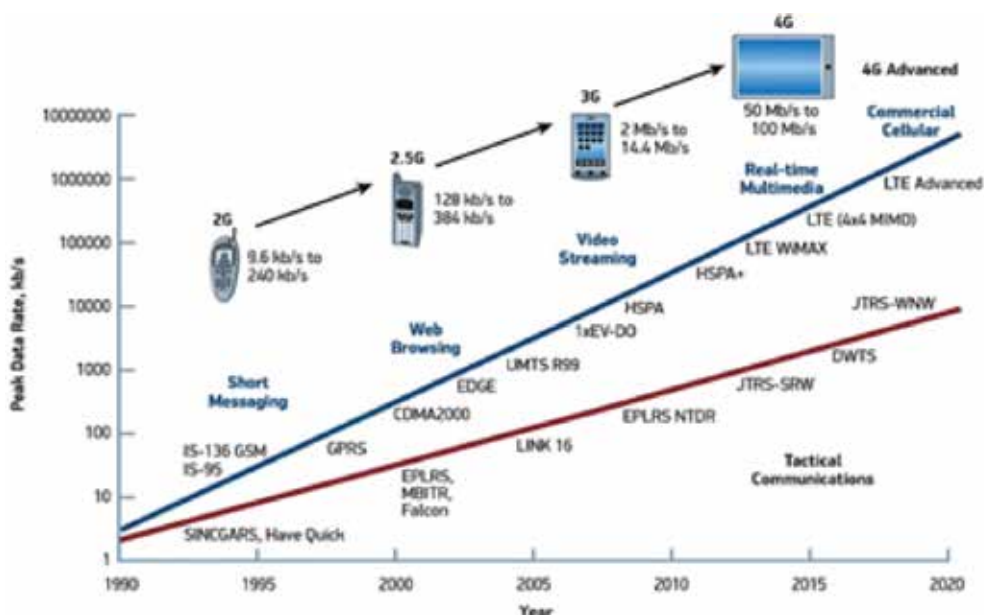


圖7 傳統軍用通信和民用通信在傳輸容量上的比較

資料來源：A. R. Hartman, M. J. Beacken, D. J. Bishop and K. L. Kelly, "4G LTE wireless solutions for DoD systems", 2011 Military Communications Conference, 2011, pp.2216.

景，並通過加密通道饋入指管應用系統以加強對於戰術行動之優勢。而如今全行動IP(all mobile IP)網路，已被公認為是無線網路發展的全球首選標準，各大製造商正積極開發在各種作業系統與終端，其技術亦可無縫支持早期所訂定標準，使其運用彈性極佳，因此美國國防部刻正加強相關專業人才之招募，期望國防部成為行動通信科技領頭羊，創造更大的作戰優勢。

二、行動通信相關應用範疇

(一)衛星通信

國家空域系統(National Airspace System, NAS)是1960年代美國聯邦航空署

(Federal Aviation Administration, FAA)為民用航空有人機的飛航管制(Air Traffic Control, ATC)所開發的基礎架構。基於國家空域系統的架構，以通信、導航、監視及飛航管理為核心的技術發展，於2010年1月1日啟用，引進衛星資源如全球定位系統(Global Positioning System, GPS)與衛

星通信(Satellite Communication, SATCOM)兩套系統，建構無地形限制，無縫隙的通信能力。¹⁵

然而我國雖兼具經濟實力與發展太空科技的能力，卻因未具聯合國會員身分，無法向國際電信聯盟(ITU)公平申請專屬的衛星運行軌道(Orbit Slot)及衛星頻率(Satellite Frequency)等兩大要件，且在中共對我國際地位不停打壓狀況下，實然成為我發展衛星科技的最大窒礙，¹⁶故在衛星科技發展受限的情況下，擴大運用行動通信技術，以建構完善的行動網路來彌補我軍事傳輸需求，或可為軍事通信之替代方案。

15 Doc, I. C. A. O. "4444-procedures for air navigation services-air traffic management", Montreal, QC, Canada: The International Civil Aviation Organization(ICAO), 2016, pp.1-464.

16 廖立文，「台灣亞洲太空賽局與全球太空安全治理體系」(全球政治評論，2017年4月)，頁103-126。

行動通信與衛星通信系統相比，行動通信系統克服了衛星系統搭建時間長、通道少、入網難(受天候影響)及頻寬(傳輸量)限制等問題。行動通信以其動中通、高速率等特點有效地解決行動傳輸需求。衛星通信與微波通信均為無線傳輸的傳統手段，其建構成本居高不下，亦後續發展的考量之一。由於行動通信的涵蓋地區廣泛，其技術不斷成熟，費用低廉，操作更加便捷，這些條件都為行動在軍事行動中的運用打下了堅實的基礎。¹⁷

(二)無人機通信

在「Wireless channel models for maritime communications」文中提出海上通信技術受到諸多限制，例如衛星通信延遲較大且成本高、MF/HF/VHF的通信頻寬低等，¹⁸而相比衛星通信或基於MF/HF/VHF的通信，無人機中繼通信系統不僅可以迅速部署，亦可輕易取得了更高的視距(Line of Sight, LoS)通信距離，提高海上／地面用戶與無人機之間的聯繫，¹⁹其不受地形限制的行動通傳能力，使得

無人機輔助通信在緊急情況通信領域運用如救災，可利用無人機輔助中繼技術來改善無線網路涵蓋。²⁰

無人機行動網就是將無人機群通過無線網路實現資訊共享，以提高無人機群即時態勢感知能力、生存能力和作戰能力。行動Ad Hoc網路由一組無線行動節點組成，是一種不倚靠現有固定網路設施，能夠迅速展開運用的網路體系。因此，採用行動Ad Hoc網路模式是實現無人機戰術組網最適合的網路架構，且如UAV搭載各項行動通信技術之研究與應用亦早已被提出。²¹近年來，無人飛行載具(UAV)在軍事和公共領域中應用更加廣泛，加以配備現代行動通信技術，使其通信效能更加完善。²²

三、美軍行動通信發展方向

美軍參謀首長聯席會議(Joint Chiefs of Staff)在「2020聯合部隊聯合作戰頂層概念」指出行動通信技術是聯合作戰行動的關鍵能力。²³行動通信的便攜與雲端大量資訊處理效能，將有效提升指揮控制能力，亦透過高速

17 吳小剛、張曉旭，「3G通信技術發展及在非戰爭軍事行動中的應用」(國防科技第35卷5期，2017年1月)，頁46-49。

18 J. Wang et al., "Wireless Channel Models for Maritime Communications", IEEE Access, vol.6, 2018, pp.68070-68088.

19 Y. Lu, J. Fang, Z. Guo and J. A. Zhang, "Distributed transmit beamforming for UAV to base communications", China Communications, Vol. 16, No. 1, 2019, pp.15-25.

20 J. Zhang, F. Liang, B. Li, Z. Yang, Y. Wu and H. Zhu, "Placement optimization of caching UAV-assisted mobile relay maritime communication", China Communications, Vol. 17, No.8, 2020, pp.209-210.

21 H. Wang, J. Wang, J. Chen, Y. Gong and G. Ding, "Network-connected UAV communications: Potentials and challenges", China Communications, Vol. 15, No. 12, 2018, pp.111-121.

22 H. Jiang, Z. Zhang, L. Wu and J. Dang, "Three-Dimensional Geometry-Based UAV-MIMO Channel Modeling for A2G Communication Environments", in IEEE Communications Letters, Vol. 22, No. 7, 2018, pp.1438-1441.

23 「The Joint Chiefs of Staff」(美國參謀首長聯席會議官方網站)，<https://www.jcs.mil/>，(檢索日期：2020年12月19日)。

行動通信迅速地增加共用資訊的人員數量。而越趨安全的商用行動通信應用，儼然成為國防部在各種任務(領域)上有所創新和增進行動效率的關鍵。

美國國防部認為資訊的運算及處理技術以行動及雲端化為趨勢，從大型無線電機到手持行動設備的演進，提供了前所未有的作戰效能，然其關鍵聚焦於行動通信相關的三大領域，即「無線基礎設施」、「行動設備」和「行動應用」，並提出了三個目標與相應的措施(如表2)。²⁴

四、美軍行動通信運用實例

美國戰術通信技術發展快速，其現役的戰術行動通信系統是美軍進行資訊技術革命，提高作戰效率，藉以實現軍隊數位化的重要基礎。其中最具代表性的有聯合戰術無線電系統(Joint Tactical Radio System, JTRS)、全球行動資訊系統(Global Mobile Information Systems, GloMo)及戰術資訊網路(Warfighter Information Network Tactical, WIN -T)系統等。

(一)聯合戰術無線電系統(JTRS)

美國國防部的聯合戰術無線電系統(JTRS)是為陸、海、空各軍兵種提供橫向和縱向跨頻段的網路連接，是數位化戰場中作戰人員通信聯絡的主要手段。²⁵該系統在開發圍繞通用軟體通信架構設計的高性能軟體

表2 美國國防部行動設備的戰略目標與措施

領域	目標	目標措施
1	推動國防軍事基礎設施的發展，以支援各項需行動通信之任務。	強化頻譜管理。擴展基礎設施，支援無線能力。建立行動設備安全體系結構。
2	建立行動通信發展策略以及運用技術之標準。	發展行動通信的策略與標準。建立行動設備管理服務。教育和培養相關技術人員。
3	國防部行動網路應用的開發與運用。	建立通用行動應用開發框架。建立行動應用認證制度。提供企業行動應用環境。提供支援行動網路的設備。

資料來源：Teresa M. Takai, "Department of Defense Mobile Device Strategy", Office of the DoD Chief Information Officer, 2012, p.1.

無線電(Software Defined Radio, SDR)系統，高度模組化、可擴展及可升級等特性，具有網路功能並可與現有傳統無線電系統相容通聯。而JTRS計畫成功的關鍵策略即為軟體無線電技術的運用，經對其技術完整定義後，即全面投入開發符合關鍵技術之無線電裝備，並於嚴謹而堅定的開發過程逐步實現了該計畫的期望目標。²⁶

我國研究亦指出，軟體定義無線電技術可實現新一代軍事無線通信系統，以軟體定義無線電發展架構為基礎，可有效整合於既有及後續獲得之通信系統，透過軟體定義無線電技術建置無線通信鏈路，以建構隨時隨地連接的行動通信環境，使得資通電整體發展得以支援國防戰略。²⁷

24 Teresa M. Takai, "Department of Defense Mobile Device Strategy", Office of the DoD Chief Information Officer, 2012, pp.1-7.

25 D. R. Stephens, B. Salisbury and K. Richardson, "JTRS Infrastructure Architecture and Standards", 2006 IEEE Military Communications conference, 2006, pp.1-5.

26 E. Koski and C. Linn, "The JTRS program: software-defined radios as a software product line", 10th International Software Product Line Conference, 2006, pp.1-10.

(二)全球行動資訊系統(GloMo)

該系統其關鍵技術涉及「自我調整行動組網無線電」及「網路應用」等兩方面，該專案開發的無線構連機制是一種在跳頻及移動環境下的分組無線網路，支援網路的快速部署及行動中通聯能力，利用各種陸地和空間通信設施，使各種戰鬥無線電平臺能夠與全球行動資訊系統相連，構成網狀式作戰區通信網。該專案強調「軍民合作」以發展軍事行動資訊系統的重要性，強調系統對資訊流量、使用者數量和網路頻寬的適應性以及具有較強的抗干擾能力。²⁸

(三)戰術資訊網路(WIN-T)

為美國陸軍高速、高容量的戰術通信網路系統，為部隊提供即時、保密、抗干擾、無斷點和多媒體的通聯，並能保證動中通的指管能力，是美陸軍未來部隊進行戰場訊息傳遞的關鍵裝備。該系統讓部隊在移動中仍能準確無誤的分享資訊，為軍隊提供一個整合、靈活、安全、無縫連接的通信系統。²⁹

此計畫選用具備動中通及全向性通聯能力的寬頻無線電系統(Highband Network Radio, HNR)來取代汰換傳統機動微波及野

戰多波道設備。³⁰系統經由MANET(Mobile Ad Hoc Network)及指向性波束等科技可幫助無線電自動選擇最佳的通信路徑，以創建一個自動鏈結、自動復原、多重路徑備援的網路，使通信節點可以在沒有固定網路基礎設施環境中及不須人工作業的情況下自動構連網路。該系統以一安全的網路為中心架構，可充分滿足現代戰術戰場通信的苛刻要求，提供網路化的語音、視頻和數據傳輸服務，並支援作戰人員的服務品質(QoS)及速度(SoS)。在IP骨幹網運行，並且與所有外部網路加密隔離，確保任務資訊安全。³¹

軍事運用分析暨建議

現代軍事行動的效益往往取決於所獲得資訊的品質與數量，由偵照衛星、搜索雷達及作戰單位產生的資訊上傳回報給指揮者，而指揮者的命令訊息或控制訊號將下達給高機動性的作戰單位，指揮者與作戰單位需要穩定的通信傳輸，將前線的戰場態勢偵蒐構成共同圖像以創造戰術優勢。此作戰概念需要建構一個完整的資訊環境，亦需要高速的行動網路，將其資訊即時的傳輸，以提供指

27 鄭南宏、焦興也，「淺談國防通信系統未來發展趨勢-以軟體定義無線電為例」，陸軍通資半年刊第130期(2018年9月)，頁8-10。

28 B. M. Leiner, R. J. Ruther and A. R. Sastry, "Goals and challenges of the DARPA GloMo program (global mobile information systems)", in IEEE Personal Communications, Vol. 3, No. 6, 1996, pp. 34-43.

29 「WIN-T」(通用動力公司General Dynamics, GD官網), <https://gdmissionsystems.com/communications/warfighter-information-network-tactical>, (檢索日期: 2021/2/2)。

30 「Harris to provide networking radios for Army's WIN-T」(Military & Aerospace Electronics: Home), <https://www.militaryaerospace.com/communications/article/16716343/harris-to-provide-networking-radios-for-armys-warfighter-information-network-tactical-wint>, (檢索日期: 2021年2月5日)。

31 S. R. Ali and R. S. Wexler, "Army Warfighter Network-Tactical (WIN-T) Theory of Operation", 2013 IEEE Military Communications Conference, 2013, pp. 1453-1461.

揮者對戰場的視野。³²

人工智慧(Artificial Intelligence, AI)技術在未來行動通信中蓬勃發展，是極為熱門的跨學科研究主題。人工智慧通過強大的學習和自動適應功能為無線通信提供智慧資源管理；另一方面，將AI包含在無線通信資源管理中需要新的網路體系結構和系統模型以及標準化的介面/協議/數據格式，以促進AI在未來行動通信網路中的大規模部署。³³充分利用人工智慧(AI)、虛擬實境(Virtual Reality, VR)和擴增實境(Augmented Reality, AR)等科技，以輔助作戰方針或行動之決定，即可於作戰運用中透過行動網路控制無人飛機和船隻。³⁴

隨著行動網路技術的持續創新發展與，大數據、雲端運算、人工智慧技術在軍事指揮領域將有更深入的應用，智慧指揮將成為未來軍事指揮的主要模式，可大幅提高軍事指揮效能與部隊戰鬥力。³⁵

一、行動通信關鍵技術

從第3代行動電話開始，產業界追求網路化、高頻寬、高速率、低延遲、自主性資訊流量調節管理的行動技術不斷推陳，傳統電信服務業和資訊科技業的分工與疆界也變得

更模糊，其中典型的例子包括電信業者可以在鏈路層提供虛擬區域網路(V-LAN)服務或是IT業者以WiMAX技術標準進軍行動電話服務業。這些變革同時也打破了區域網路與網際網路的藩籬，將ISP與IT業通用的技術概念包括行動隨建即連網路(MANET)、波束成形(Beamforming)及多輸入多輸出(MIMO)等技術交互應用在區域網路、網際網路及行動通信服務的環境中，這些新技術應用，使得在規劃、實現軍事用行動通信系統時，得到更多的搭配組合，大幅提升系統的運用效能和彈性。

(一)行動隨建即連網路(MANET)

為了達到行動通信中數據傳輸的連續性，在戰場中建立一個具有自動組織鏈結(Ad hoc)的無線電通信網路絕對是必要的條件，可藉此技術來支援無法與固定網路基礎設施構聯的軍事行動。³⁶就區域網路而言，Ad hoc網路分為固定節點和行動節點兩種，而MANET即是具有行動性的Ad hoc網路，是一種在沒有基地臺的情況下，所有的行動裝置皆能彼此直接作訊息交換及溝通，同時所有的行動裝置也兼具轉傳訊息的功能，由於不

32 L. Barrere, S. Chaumette and J. Turbert, "A Tactical Active Information Sharing System for Military Manets", 2006 IEEE Military Communications conference, 2006, pp. 1-7.

33 M. Lin and Y. Zhao, "Artificial intelligence-empowered resource management for future wireless communications: A survey", China Communications, Vol. 17, No. 3, 2020, pp. 58-77.

34 「5G is a game changer for the military」(Data Respons), <https://datarespons.com/5g-is-a-game-changer-for-the-military/>, (檢索日期：2020年12月19日)。

35 Z. Shi, G. Zhao and J. Liu, "Research on the Model of Command and Decision System for Big Data", 2020 IEEE 3rd International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE), 2020, pp.481-484.

36 E. Fossa and T. G. Macdonald, "Internetworking tactical MANETs", 2010 Military Communications conference, 2010, pp. 611-616.

需要基地臺，因此可以應用在許多無法建立基地臺的作戰環境(如圖8)。

(二)波束成形(Beamforming)

行動通信領域的波束成形是指行動通信系統根據特定場景自動調整天線陣列輻射模式的能力，將天線功率主瓣指向使用者(如圖9)，並調整各天線收發單元的振幅和相位，使得天線陣列在特定方向上的發射或接收訊號相疊，而其他方向的訊號則相互抵銷，使通聯更加穩定，即為波束成形的基本概念。

³⁷波束成形廣泛應用於雷達、聲納、行動通信、生物醫學工程及其他領域，其形成的波束在所需方向上實現了高增益並抑制其他方

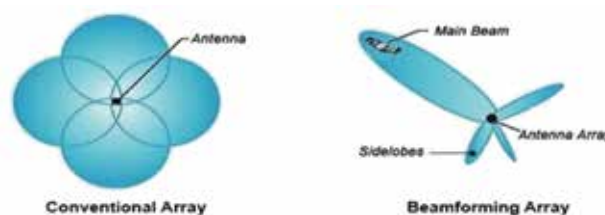


圖9 常規與波束成形之波束比較示意圖

資料來源：「What is Beamforming?」(everythingRF), <https://www.everythingrf.com/community/what-is-beamforming>, (檢索日期：2021/2/2)。

向的干擾。³⁸

(三)多輸入多輸出

多輸入多輸出(Multi-Input Multi-Output, MIMO)技術是所有先進蜂巢無線系統的關鍵功能，屬天線分集技術的一種應用，目的是利用多組天線改善無線電射頻傳輸的訊號品質和強度。³⁹在MIMO無線電傳輸端先將傳送的数据分割成數個資料串，經由多組天線發送，接收端的MIMO無線電經由相同天線組接收信號串後，再將數據重新組合、還原。⁴⁰由於無線信號在傳送的过程當中為了避免發生干擾，會走不同的反射、折射或直接波等多重路徑，多重路徑傳輸的信號送達接收端時會產生微小的時間差，為了避免被切割的信號不一致而無法重新組合，MIMO無線電接收機根據時間差的因素，將分開的各信號

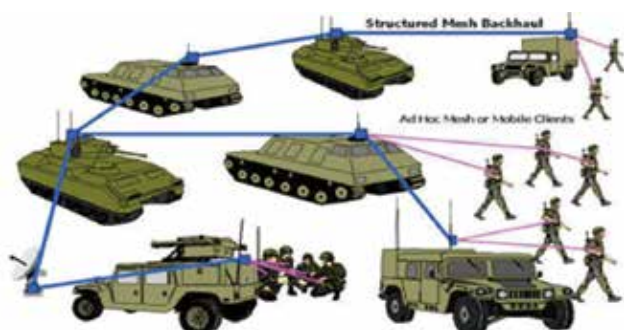


圖8 軍事MANET通信應用

資料來源：Ramamoorthy H, Vignesh and Devi, D.Suganya, "A New Proposal for Route Finding in Mobile AdHoc Networks", Computer Network and Information Security, 2013, pp.2.

37 B. D. Van Veen and K. M. Buckley, "Beamforming: a versatile approach to spatial filtering", in IEEE ASSP Magazine, Vol. 5, No. 2, 1988, pp. 4-24.

38 W. Shi, Y. Li, L. Zhao and X. Liu, "Controllable Sparse Antenna Array for Adaptive Beamforming", in IEEE Access, Vol. 7, 2019, pp. 6412-6423.

39 D. Gesbert, M. Kountouris, R. W. Heath, C. Chae and T. Salzer, "Shifting the MIMO Paradigm", in IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 24, No. 5, 2007, pp. 36-46.

40 Bolcskei, Helmut, et al., "Space-time wireless systems: from array processing to MIMO communications", Cambridge University Press, 2006, pp.36-46.

重新組合，並且快速正確地還原信號。其優點如下：

1. MIMO無線電可以利用電磁波折射、反射或繞射所產生多重路徑的效應，在缺乏視距通信的環境，改善信號的強度。

2. 可提高整體傳輸量，對數據、語音、視頻、多媒體串流等，提供高頻寬、高品質的網路傳輸服務。

3. 利用多個信號串流傳送相同信號，可降低因自由空間傳輸損耗衍生之資訊遺失的機率。

4. 數據經過分割傳送，在不佔用額外頻譜的條件下，不僅單一路徑流量降低，增強傳輸距離，天線的接收範圍也相對提升。

MIMO技術是指在基地臺和行動終端裝置均設計多組收發天線，為系統提供空間再利用的增益和空間分集增益。⁴¹空間再利用的原理是在接收端和發射端使用多組天線，充分利用空間傳播中的多徑路徑傳播特性，在同一頻段上使用多個子通道發射信號，使系統容量隨天線數量而增加，而不需要增加頻寬或總發送功率耗損。無線電系統採用MIMO天線具有另一個優勢，在經由天線極化效應的組合安排，可克服各種艱難的通信環境，以獲取最佳的通信效能，其技術能在不增加頻寬的情況下加倍地提高通信系統的容量和頻譜利用率，是下一代行動通信系統中最具競爭力的技術之一。⁴²

二、我國軍事通信劣勢分析

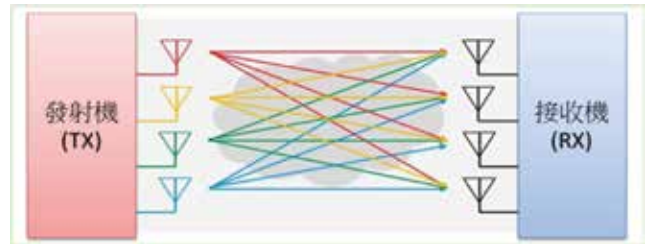


圖10 MIMO(4x4)天線陣列傳輸模型

資料來源：作者自行繪製。

我國軍遂行作戰任務及演練時，除運用自身通信裝備外，得藉由民用通信力量來相互支援，增加其通信彈性。民(商)用通信發展日新月異，其技術新穎、手段齊全、設施完備、覆蓋面廣，為軍事行動運用奠定了堅實基礎，經觀察美軍現行運用現況，反思我國軍現行在行動通信能量的建構上，針對劣勢分析如下：

(一)機動通信能力欠缺，難以滿足緊急通信需求

軍隊遂行作戰或救災任務時，可能遭遇突發性狀況如交通阻斷、通信中斷等問題，其發生的時間、地點、危害程度均難以精準掌握預測。軍事行動情況多變，部隊機動頻繁，移動方式多元且速度快。此時，通信系統能否在不同環境、地形和氣候等條件下達成構連，於作戰行動中保持通信，即所謂的「動中通」能力，以滿足於任務中不中斷的通信需求，實為嚴峻之考驗。在部隊機動頻繁情況下，建構可用通信能量之時間非常倉促，對行動通信需求量大且要求亦高，必須做到迅速、準確、保密，具備不間斷地為

41 Dr. Jacob Sharony, "Network Technologies Division Center of Excellence in Wireless", IEEE, 2006, pp. 1-63.

42 林高洲，〈無線通信系統發展新趨勢-智慧型合作式通信網路〉(中華民國電子零件認證委員會)，頁 44-49。

指揮部、機動部隊提供高效、即時的通信服務。而當前我國軍緊急通信任務需求均係由機動通信車中繼執行，惟車載機動能量受道路、地形限制，另輔以機動部隊單兵背負攜帶型之通信裝備，亦無法達到完善涵蓋的通信構連。

(二)通信協定複雜缺乏互通，聯戰指通能力受限

軍事行動涉及多元，國軍依各類型作戰需求，由各軍種分別發展專用通信系統，俾符作戰實需，其中陸軍主要運用特高頻(VHF)通信，海軍艦岸通信以高頻(HF)通信及衛星通信為主，空軍則以超高頻(UHF)為戰管主要通信手段。就現況而言，各軍種專用通信所使用之通信裝備多數不相同、且通信網路各有差異及通信協定複雜缺乏互通性等問題，進而導致聯戰指通能力受限。另國軍於執行救災任務時，需配合地方政府、警察與消防等部門偕同執行，軍警消各單位所使用的通信裝備及技術體制均不相同，訊號格式無法相容，使得相互通聯不易，造成救災任務執行窒礙。

(三)用頻裝備陳舊，頻譜資源運用低效

國軍依前述主用通信頻段，律定由軍種統建通信裝備換裝案，惟建案執行迄今，僅完成特高頻(VHF)通信及衛星通信裝備換裝，餘頻段裝備仍未完成新一代通信裝備換裝作業，導致用頻裝備陳舊，頻譜資源難以有效運用。世界各國在頻譜資源使用率高，

惟運用效率低弱者大多指向公用頻譜資源的使用，尤其以軍事應用為代表。我國國防上亦佔用許多頻譜資源，其中原因為國軍通訊器材老舊、技術水準受限，導致所用裝備需佔用大量頻寬，惟為確保國家安全與公共利益，雖不究其利益問題，但仍希望切實檢討精進，以求頻譜資源有效運用。⁴³

三、軍事應用策略芻議

5G通信現為最新民用行動通信技術，就軍事應用觀點而言，其仍欠抗干擾、抗毀、保密性及有效覆蓋等能力，如將5G技術應用於戰術通信環境仍然略顯不足，本節將優先探討行動通信軍事應用趨勢、關鍵指標，進而針對我國軍劣勢提出建議策略及探討應用方案。

(一)軍事應用趨勢探討

就軍事應用角度來看現代的行動通信技術，其傳輸速度與穩定性均可輕易滿足戰場的通信需求，應用在軍事領域中的優勢可包含幾個面向：⁴⁴

1.有效資源運用：行動通信技術不但充分利用了現有的頻率資源，甚可朝向至高頻頻率擴展，在可用頻率資源擴展情況下，軍隊得以在5G通信技術上獲得專屬頻率運用。這將有效解決當前存在的軍用行動通信系統與民用行動通信系統頻段重疊共用、互相干擾的問題。

2.突破地障限制：行動通信技術得有效串連起戰場中所有武器平臺，並得以運用各

43 曾志超，2001。〈建立有效率的頻譜分配制度-以財產權制度為基礎之分配〉。中央大學產業經濟研究碩士論文。頁107-108。

44 王鵬，「5G 通信技術的軍事應用」，中國青年報，2019年1月17日，版012，頁1-2。

型載台克服地形障礙，使戰場上更多的單位(兵)共享資源，擁有共同作戰(戰術)圖像，進而提高聯合作戰效能。

3.提升指管效能：行動通信技術可將戰場的各型指管(資訊、通信)系統進行深度融合，形成一相容互通的高速資訊網路，戰場各項資訊透通傳遞，更可有效提升作戰效能。

(二)軍事應用關鍵指標

行動通信在軍事應用中，極其重視可靠及安全性需求，依軍事特性對後續系統發展與建案之考量，可由下列8類指標性能(如表3)來著手。⁴⁵

(三)軍事應用策略建議

1.應用行動通信，快速延伸通信網路：

應用新一代的行動通信技術，可實現部隊於移動中連網需求(如在高鐵上順暢使用行動網路)，亦可透過行動通信寬頻系統獲得更加廣闊的電磁波涵蓋範圍，能夠為國軍各類型之軍事活動提供更加穩定的行動網路服務，避免在惡劣環境條件下，造成軍事通信或軍隊指揮之不順暢或是中斷，俾達「有效覆蓋、無縫漫遊」之效。

而近年無人機科技持續發展，在軍事領域中往往將其運用在偵察及攻擊手段，隨著行動通信技術發展及戰場通信的迫切需求，將無人機作為戰術通信(中繼)平台即可大幅的發揮其機動性的優勢，運用無人機群組成的蜂巢通信系統，可有效地改善我國軍機動通信能力欠缺之問題(如圖11)。

表3 行動通信對軍事應用的關鍵性能指標說明表

關鍵績效指標	說明	價值
優先	根據軍事任務的重要性分配的優先等級，確定5G網路調度資源的優先級，可以根據需求即時動態調整。	高：戰場即時對抗任務 中：協作培訓任務 低：物流設備支援任務
延遲	點對點延遲，即終端在執行軍事任務時將數據發送到另一端以接收數據的時間。	點對點延遲最多1ms。
可靠性	在指定的條件和功能力下，可為特定的軍事任務提供可信任的網路服務。	武器打擊：99.999% 指揮與控制：99.9% 服務支持：99%
用戶率	在包含戰士、裝備支援人員、雷達、其他感測器及導彈等武器平臺同時負載運作時，須保持用戶的使用速度。	在特定條件下5G峰值速率可以達到20gbps
流動性	在無縫傳輸條件下可以支援的最大行動速率。應用於飛機，輪船和陸戰車等高速移動物體。	高：> 200 km / h 中：2~200 km / h 低：< 2 km / h
連接密度	每單位面積可支援的在線終端總數，主要是針對分布有大量感測器並相互連接的戰場或軍事物資支援場景。	高：> 104 / km ² 中：100~104 / km ² 低：<100 / km ²
安全分類	根據安全級別，行動網路服務可在實體隔離的網路運作。	高：機密 中：密 低：普通
能源效率	網路端和用戶端每單位能源消耗所能發送和接收的數據量，該指標是為了滿足遠距離連網的需求。	高：武器感測器感應 中：戰場局勢 低：遙控

資料來源：同註45，頁728。

45 J. Liao & X. Ou, "5G Military Application Scenarios and Private Network Architectures", 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), 2020, pp. 726-732.

2.異質網路整合，籌建共同通信平臺：

為達三軍聯戰指揮需求，以聯合作戰為核心，須將各軍種、單位資訊通透共享，故在系統裝備必須朝向IP-Base及軟體化建置，並運用行動通信網路之高相容性，將戰場的各種異構資訊通信網路深度融合，形成一張相互相容的高速資訊網路，為軍隊提供一種覆蓋域廣、傳輸率高、相容性強的立體化資訊通信平台。故應統籌建制共同通信平臺，加強各軍種相互間的通信能力，有效整合與共用通信資源，形成互補式通信網路，以利指揮控制和情報資訊的傳遞；另需統一相關人機操作介面，進而提升人員訓練及臨機協調能力，均是我國軍日前的首要工作。

透過技術研發和通信系統共用，加強與行動夥伴的合作，於平台加以整合與共用通信資源，以便於指揮控制和情報資訊的傳遞，將行動通信應用於軍事上亦可一定程度改善通信能量整合、官兵臨機聯合協調訓練等面向問題。同時，在對外作戰中，利用部署的行動通信網路，軍隊無需頻繁調動軍用通信衛星、預警機等資源，就能夠實現戰場資訊終端的互聯互通，使得通訊達到幾乎無阻礙的程度，降低軍事行動的成本。

3.動態頻譜管理，自動連網智慧作戰：

以SDR為基礎開發之無線電通資系統，導入人工智慧技術，使系統依靠資料庫「自動」判斷並累積智慧，裝備參數具可重新配

置能力；⁴⁶而針對頻譜資源運用難題得依循新式的感知無線電技術，即可跨越不同系統，使用不同頻率，以自我選取調整傳輸參數與頻率方式，達到「動態」頻譜管理機制，使頻譜資源運用效率大幅提升，讓每一個終端用戶能感知外在環境變化，進而選擇調整無線通信資源，達到最佳的運用狀況，⁴⁷以持續提供使用者高寬頻、高傳輸、高品質、多功能的行動網路。

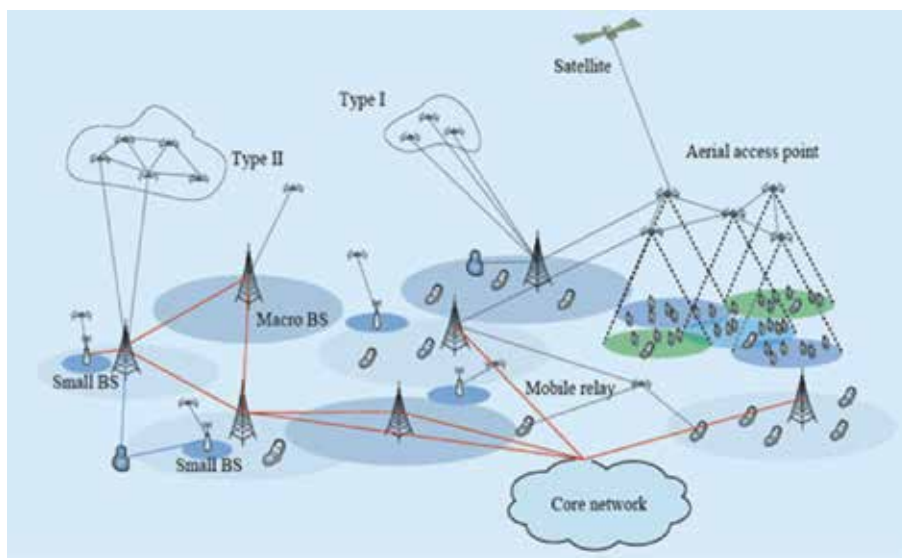


圖11 無人機群的網路架構

資料來源：H. Wang, J. Wang, J. Chen, Y. Gong and G. Ding, "Network-connected UAV communications: Potentials and challenges," in China Communications, Vol.15, No.12, pp. 114.

46 嚴筑平，「導入軟體定義無線電於現代戰場之研究-以無線電通資系統為例」，國防大學管理學院指揮參謀學院正規班108年班軍事專題研究(2019年5月)，頁104、109。

47 同42。

經行動通信網路的建置與運用，隨即而來的需求即是海量資料的分析，而人工智慧即可為指揮官提供智慧分析和決策，以實現快速反應進而打擊的效果，可以說行動通信網路在傳輸速率和穩定性方面，能夠更好的滿足未來戰場中通信任務的需求，以實現指揮網路化、即時化、一體化的戰場控制。

(四)應用方案探討

在2020年「國際電機工程和計算機應用進展會議-5G軍事應用場景和專用網路架構」研討會議中，所提出軍事專用網路方案可納為國軍運用參考：⁴⁸

1.核心網設施共享，網路切片區隔：網路切片(Network Slicing)簡單來說就是在實體網路上建立多張邏輯(切片)網路，每張邏輯網路都可以有屬於自己網路配置，例如網路頻寬、封包傳送路徑等，所以在上每一張網路就可以專屬於某一類應用，或是滿足特定企業用戶的專用網路需求。⁴⁹第一種方案是軍用網路及民用網路的基地台共同構建(如圖12)，使專用及公用網路以共用方式運行。在這種部署模式下，用戶資訊的安全性取決於網路切片的能力，可以在安全性要求相對較低且地理位置固定的場景中使用。

2.實體隔離建置，專網專用：第二種方案是將軍用網及民用網路分別建立一個獨立網路(如圖13)，可不受民用行動服務商所限制。由於這種部署模式與民用網路完全隔

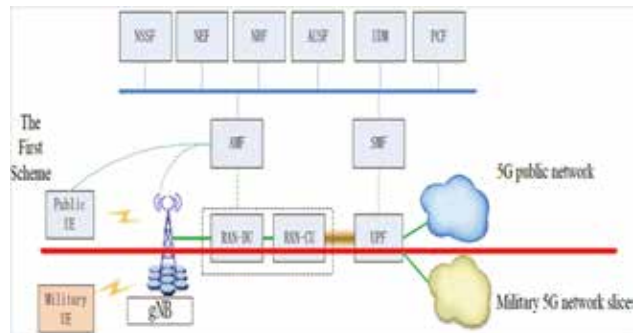


圖12 軍事網路與公用網路共同建構

資料來源：J. Liao & X. Ou, "5G Military Application Scenarios and Private Network Architectures", 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), 2020, pp.729.

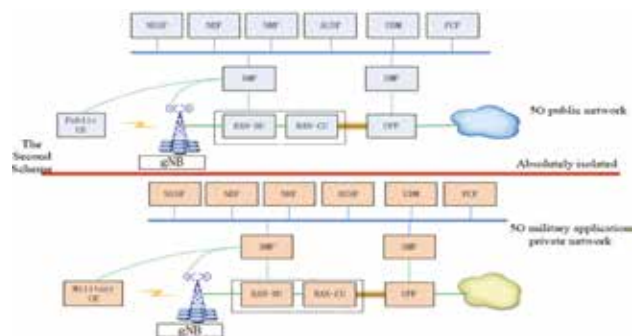


圖13 軍事網路與公共網路完全隔離

資料來源：J. Liao & X. Ou, "5G Military Application Scenarios and Private Network Architectures", 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), 2020, pp.730.

離，因此可以保證軍事應用程式數據的絕對安全，且核心網和無線接入網都可以部署在作戰平臺上，數據來回傳輸距離短，傳輸延

48 J. Liao & X. Ou, "5G Military Application Scenarios and Private Network Architectures", 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), 2020, pp.726-732.

49 「為何5G企業商用決戰場是網路切片技術？」(iThome), <https://www.ithome.com.tw/news/138744>，(檢索日期：2021年2月5日)。

遲低。即使民用網設備損壞，也不影響軍事專用網路，可靠性更高。本方案架構與我國防現行資安政策中實體隔離的規範不謀而合，適合部署在對機動性、安全性和可靠性要求較高的作戰場景中，惟獨立網路的部署成本較高及操作維護亦須具備較高素養的專業人力。

3.核心端共用，用戶端隔離：第三種方案是軍事網路與公共網路共享網路核心架構，兩類網路服務中的身分認證、行動性管理等功能均由同一套核心網路所負責，用戶端則分開部署(如圖14)。與第二種方案相比，資料安全性和隱私保護能力較差，適用於平時的演訓場景和後勤支援任務，抑或可以思考在作戰中、後期，我軍用實體網路全面失效，當作戰求勝需求遠遠大於資訊安全考量當下，即可發布動員將民用行動網路資

源納入戰時徵調所用，將系統配接為此架構，並經關閉對國外連線閘道或運用民用行動通信等資安手段後，將軍、民系統串聯運用，由軍民融合的資源延續我情資傳遞能力。

四、小結

軍用通信領域對比民用通信更加講究可靠及抗干擾的技術需求，美國國防部現趨向於採用「商用現貨(Commercial Off-The-Shelf, COTS)」，將原有專有、一次性、量身定制、高昂維護費用的軍用通信市場進行改造，轉變成更先進、開放體制、隨時可用、大量供應商的低成本商業市場。軍用通信系統總承包商可以利用COTS滿足他們的軍事客戶的需求，同時利用COTS解決方案說明加快產品上市速度，更易於維護，提供了更長的系統壽命週期。

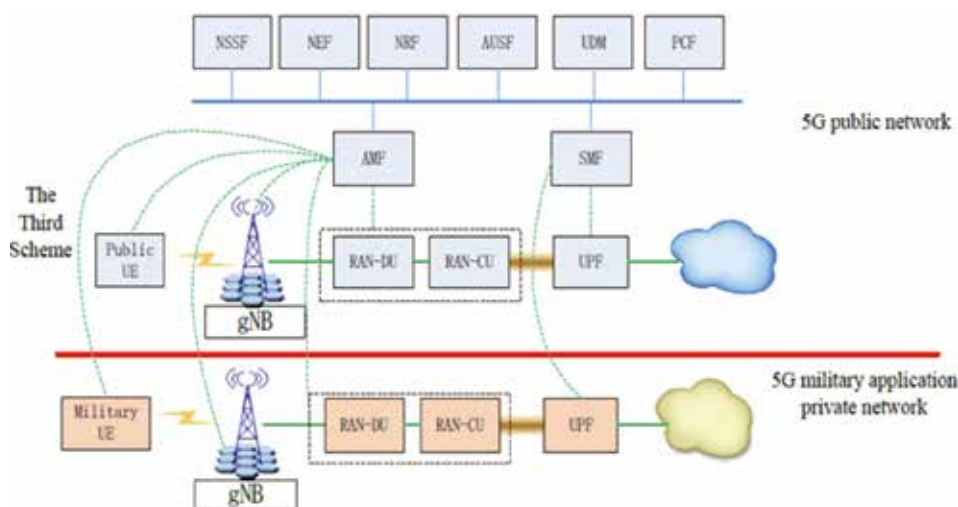


圖14 軍事網路與公共網路控制共用，用戶隔離。

資料來源：J. Liao & X. Ou, "5G Military Application Scenarios and Private Network Architectures", 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), 2020, pp.731.

而在各類產業、通信、偵測、電子和控制領域已見證了行動通信在軍事，民用和公共領域的空前應用(如緊急救援和通信，導航和定位，監視和檢測)。機動化的行動通信，可以利用配備了收發器和感測器的各種飛機來構建通信基地台。這些飛機主要包括衛星，高空平台(HAP)的飛艇和熱氣球、低空平

台的無人飛行器。⁵⁰當前4G行動通信技術成熟及5G科技蓬勃發展，與之形成鮮明對比的是軍事行動通信系統發展緩慢，把國內民用先進技術引進到軍事通信中，不僅能迅速提升軍事行動通信系統的性能，亦符合「軍民合作」及「國防自主」等政策。

結 論

我國科技技術向來不落人後，惟在衛星科技發展受限於國際政治因素情況下，行動通信領域是我國可戮力發展之方向。基於國防科技精進，各國情監偵體系及精準打擊武器推陳更新發展，臺澎防衛作戰軍事戰略勢必需要結合「戰力保存」想定，融入「機動部署」、「戰力防護」及「快速精準反制」等多項思維，透過分散部署、情資共用等手段，讓可恃軍力藉有效網路傳輸，進行任務分配、交換戰場情報，達成快速反應、防護、機動、打擊的戰術目標。為了達此目標，建構一個穩健、可靠，具戰術機動，可快速部署，行動中通信、融合數據傳輸能力的寬頻行動通信網路，絕對是一項不可或缺的致勝要件。

本文從電信產業資訊服務的架構及行動通信服務趨勢分析，網際網路通信協定對於軍、民行動通信系統架構之影響已是不可

逆的事實，就國軍戰術應用而言，建構低延遲、高效能以IP應用服務為主體的行動通信網路，具有重要的軍事價值，不僅增加機動通信作戰效能，並能成為現有實體骨幹網路「多元」及「備援」傳輸手段。一方面可以提高通信能力，直接推動軍事通資系統的革命；另一方面它可大幅增強新興技術的推展，為戰場建立開放的靈活資訊服務系統，間接促進新軍事能力的產生，並加速智慧軍事革命的進程。為了充分發揮行動通信在未來戰爭中的軍事應用潛力並全面提高作戰效能，實有必要深入研究行動通信關鍵技術和專用網的適用性作為我軍事網路之運用，俾作為未來支援作戰的發展方向。

作者簡介

李建鵬中校，中正理工學院正87年班、管院指參班101年班、國防大學理工學院資工所網路安全在職碩班108年班。曾任艦艇電子官、修護組長、通信區隊長、科長、資參官、電戰官。現任國防大學管理學院中校教官。

葛鑑霆少校，航空技術學院95年班、電子戰正規班101年班。曾任通修官、通資組長、通資分隊長。現任國防大學空軍指參學院少校學員

50 X. Cao, P. Yang, M. Alzenad, X. Xi, D. Wu and H. Yanikomeroglu, "Airborne Communication Networks: A Survey", in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 36, No. 9, 2018, pp. 1907-1926.