



軍事教育

合成孔徑雷達與 衛星通信技術之探討

軍事科技作者 耿志雲

提 要

- 一、現階段技術以微波成像的合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar—SAR) 在軍用效益上比一般光學影像雷達 (Electronic Observation—EO) 能夠更加清晰顯示目標區的詳細情資，隨5G通信時代的普及化，白宮有意主導遙感衛星與開放頻寬，以便確立美國在此一技術的領先地位，藉自由市場的商業競爭原則，減低中國大陸與歐盟同級技術的戰略對比。SAR的逐漸升級的解析度、全天候效率，均非一般的光學雷達影像所能比擬，在軍事用途與國防安全的助益潛力甚巨，各國政府對於SAR的建構也都在提高順位。
- 二、近年來航太技術快速發展，飛機和衛星等各式航空器大量利用所運載的儀器，聯結了對地表觀測與通信。無線通信技術也順理成章地進入了太空時代，雷達測量能全天候順利施測，雷達波掃描能迅速提供整個面的地表資訊，衛星運行能持續不斷地提供地表雷達影像，因此可以比對不同時間擷取的影像，計算出地表變形速率。美國以力圖透過軍民通用通信頻段的開放，擴大潛在商業市場前景。

關鍵字：合成孔徑雷達、衛星群系統、5G通信



壹、前言

大約10年以來，來自「力加多網路」公司(Ligado Networks)及其前身Light Squared(光亮廣場)的幕僚一直試圖獲得「聯邦通信委員會」的批准，以便將L波段頻譜的一部分用於通信。L波段被歸納為1~2 GHz之間的頻率範圍。GPS和其他國際導航系統依賴L波段，因為它可以輕鬆穿透雲層、霧、雨和植被。美軍和盟國部隊通用的Link 16資料鏈路也是利用L波段。利加多擁有在GPS附近操作頻譜的許可，以建立該公司所描述的5G網絡，這將增強工業「物聯網」市場的連接性。該公司使用於2010年發射並在地球同步軌道上運行的「天空陽台1號」(Sky Terra-1)衛星^{註1}，並且還計畫部署數千個終端機，以便在美國大陸提供連接。由此可見美國在前述衛星通信技術的布局與戰略。

貳、聯邦政府對頻寬釋出的攻防

許多聯邦政府領導人，包括來自航太總署(NASA)、聯邦航空局(FAA)、運輸部(DOT)以及國家海洋與大氣管理局(NOAA)的領導人，都擔心該頻譜與GPS衛星所使用的無線電頻率接近。某些衛星的運作單位，包括使用鈹衛星其服務的五角大廈在內的一些衛星運營商，也擔心來自利加多的潛在干擾。在五角大廈，反對派的力量最大。美國空軍的GPS衛星鞏固了軍方在定位、導航和定時方面的資訊優勢。GPS專門用於瞄準、武器導引和偵察。此外，在過去的幾十年中，該部門已經在衛星和相關的地面系統上花費了數百億美元。

一、聯邦對GPS頻譜的分歧

美東標準時間2020年4月11日中午12:00在FCC發布將核准消息後，國家通信與資訊署(National Telecommunications and Information Administration, NTIA)隨即向聯邦通信委員會(Federal Communications Commission, FCC)發布了一封公開信，其中包括多位聯邦參議員的筆記以及備忘錄。此外，NTIA的副署長表示，他相信FCC無法「合理地得出」五角大廈之前的擔憂已得到解決的結論。

聯邦通信委員會(FCC)準備立即通過一項草案，該草案將重新分配無線電頻譜的特定部分用於寬頻通信，從而排除了美國國防部10年來對此的強烈反對意見。五角大廈的高級官員警告，此舉將產生新的干擾，還可能破壞對國家安

註1 Gunter Dirk Krebs, "SkyTerra 1, 2 (MSV 1, 2, SA)", Gunter's Space Page, 檢索日期2020/4/20, https://space.skyrocket.de/doc_sdat/skyterra-1.htm。



全至關重要的衛星群部署，從而對GPS系統造成「不可逆的」損害。這份草案決定將讓私人控股的「利加多網路公司」(Ligado Networks，以前稱為Light Squared)在L頻段的頻率範圍內展開商業運行，儘管聯邦政府在多年的抵制下(主要是由國防部主導)。而白宮主要幕僚官員對5G技術的重新關注，是這一草案擬成的重點。批准「利加多草案」的動力來自「白宮國家經濟委員會」。該單位由賴瑞·庫德洛(Larry Kudlow)率領，他曾對擴大美國5G功能的經濟利益表示了高度興趣。

此外，聯邦總檢察長威廉·巴爾(William Barr)於4月7日宣布，他將率領一個名為「電信團隊」(Team Telecom)的新國家安全小組。巴爾曾任前電信高管，他也談到了擴大美國的5G功能(下一代移動通信技術)，以此來抵禦中國大陸在該領域的主導地位^{【註2】}。一位熟悉該程序的消息人士透露：「白宮正在考慮的草案，可以為聯邦政府GPS提供多個超過有害干擾點數量級的保護，同時還能促進美國的經濟和國家安全利益，並且引領5G世界」。但五角大廈卻表示，如果獲得總統批准，利加多的草案似乎將超越國防部的擔憂，意即，利加多會「對作戰單位造成不可逆的影響」，甚至白宮承諾有解決方案也屬「不可行，負擔不起或技術上達不到」。而其他專家卻將利加多視為幫助經濟增長，和與中國大陸競爭的一種方式，他們聲稱，國防部的分析「並未表明外來干預是必然的」。五角大廈、白宮，和美國商務部下轄的「國家電信和資訊署」拒絕就此事發表評論。FCC亦未對此回覆評論。

二、軍方立場多為保守

在2017年《國會山莊》(The Hill)日報的專欄文章中，前FCC專員羅伯特·麥克道威爾(Robert McDowell)曾撰文表示，這項決定好像會「允許一棟輕型房屋(指當時的Light Squared)搬入一個已經蓋好的圖書館(持現有的衛星被許可人)旁邊的地段，它需要一個無意見的鄰居來營運」^{【註3】}。關於Light Squared的影響討論可追溯到2011年的國會聽證會上，但國防委員會內部最近一次對該問題的公眾關注，是在2016年3月15日的聽證會上。在眾議院「武裝部隊委員會戰略部隊小組委員會」的證詞中，時任空軍太空司令部司令，現在

註2 Jerry Dunleavy, "Barr leads revamped 'Team Telecom' to protect networks from foreign adversaries", Washington Examiner, 2020/4/7, 檢索日期2020/4/10, <https://www.washingtonexaminer.com/news/barr-leads-revamped-team-telecom-to-protect-networks-from-foreign-adversaries>。

註3 Robert McDowell, "New Washington, but the same LightSquared is asking for favors from the FCC", The Hill, 2017/4/4, 檢索日期2020/4/6, <https://thehill.com/blogs/pundits-blog/technology/327198-new-washington-but-the-same-lightsquared-is-asking-for-favors>。



是參謀長聯席會議副主席的約翰·海頓上將(Gen. John Hyten)擔心利加多對全球定位系統的影響，他說：「我們不能做會損害我們國家安全的事」^{【註4】}，立場顯然保守。

2018年12月，「國家太空定位、導航和計時執行委員會」建議不要批准利加多網路公司使用頻譜的申請。2019年4月，當時的代理國防部長帕特里克·沙納罕(Patrick Shanahan)向美國聯邦通信委員會(FCC)建議其拒絕該公司的提議，而現任國防部長馬克·埃斯珀(Mark Esper)在2019年11月也發出了類似的拒絕聲明。五角大廈的最新議案始於2月14日的備忘錄，該備忘錄由美國空軍GPS執行專員盧素(Thu Luu)撰寫。該備忘錄是由來自其他12個機構的代表共同簽署的，包括NASA，聯邦航空局以及內政部、商務部、司法部、運輸部和國土安全部。官員們將備忘錄從國防部寄給了商務部內部的「跨部門無線電諮詢委員會」，該委員會負責監督啟用美國GPS功能的頻譜^{【註5】}。

3月12日，美國國防部研究與工程負責人麥克爾·格里芬(Michael Griffin)和美國國防部首席資訊官達娜·戴熙(Dana Deasy)發了另一封信，並附有備忘錄，這次是在美國「國家電信和資訊署」(NTIA)內的一個辦公室發出。兩位官員重申了備忘錄中的擔憂，並且兩次要求將其納入公共記錄，因為該資訊對於利加多做出的任何決定都是「至關重要的」。然後，在3月24日，五角大廈通過美國商務部第二號人物戴維·諾奎斯特(David Norquist)給商務部長威爾伯·羅斯(Wilbur Ross)的信，將其關切程度進一步提高。諾奎斯特再次要求將資訊發送給負責對利加多案做出決定的「聯邦通信委員會」小組^{【註6】}。但幾週後，FCC公開文件中沒有部門備忘錄的跡象，消息人士稱，部分原因是受到來自庫德洛辦公室和「白宮國家經濟委員會」的壓力。

三、開放頻寬的技術考量

多年來，利加多的高階幹部爭辯說，他們的系統將使用更少的頻譜，更低的功率水平，並且可以減少對通信頻道以外的傳遞。面對來自Garmin和John

註4 Marcus Weisgerber, "The Air Force's Next Chief Might Be Its Space-War General", Defense One, 2016/4/13, 檢索日期2020/4/9, <https://www.defenseone.com/business/2016/04/air-force-general-space-war-chief/127437/>。

註5 Theresa Hitchens, "FCC Chair OKs Ligado's Controversial 5G System; Rejects DoD GPS Claims", Breaking Defense, 2020/4/16, 檢索日期2020/4/19, <https://breakingdefense.com/2020/04/fcc-chair-oks-ligados-controversial-5g-system-rejects-dod-gps-claims/>。

註6 Aaron Mehta, "Congressmen demand answers after Pentagon issues GPS warning", C4ISR.net, 2010/4/13, 檢索日期2020/4/16, <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/2020/04/13/congressmen-demand-answers-on-gps-spectrum/>。



Deere等主要商業GPS公司的指控，利加多還提出減少其最初計畫的頻譜數量。該公司還表示，如有必要，它將與政府機構合作修繕和更換設備。同時，支持者們爭辯說，是NTIA，而不是五角大廈在負責各行政部門的頻譜使用。

但是，在12月6日的一封信中，商務部代理通信和資訊的副部長助理道格拉斯·金科夫(Douglas Kinkoph)表示，NTIA「無法建議白宮國家經濟委員會批准利加多的申請」。他在信中提到了國防部的反對以及其他在5G建設的努力。從那以後，國防部和其他政府機構之間的擔憂就一直沒有平息。空軍GPS的執行專員盧素在2月14日的備忘錄中寫道：國防部在沒有投入「大量時間和資源來進行軟體修改、試用和驗證的情況下」，想要識別受影響的接收器並更換它們是「實際上是不可能的」。她特別引用了2016年在新墨西哥州的「白沙飛彈靶場」進行的測試，並將結果分類。

問題的部分原因是，根據2012年的證詞，一些較舊的GPS接收機「監聽」了隔壁的信號，這意味著屬於利加多頻譜的那些信號。結果，國防部官員希望在干擾方面有少量誤差。但是利加多的支持者認為，五角大廈的標準過於嚴格。FCC主張將建議GPS頻譜之外的干擾可以有更大的誤差範圍，這對L波段的支持者是一個勝利。盧辯稱，利加多提出的任何緩解計畫都是「不切實際且不可執行的，因為它們會將干擾的風險轉移給機構和其他GPS用戶，並給其他用戶的監督和報告干擾帶來巨大負擔」。利加多主張更換政府GPS的接收器，因為言明受到該公司提案的網路影響，等於是默認干擾存在。

此外，利加多的緩解建議即使在技術上可行，也僅涵蓋政府擁有的那些接收器，並將使許多非政府擁有的民用GPS接收器(如高精度接收器)在高價值的聯邦用途中容易受到干擾，正如利加多在其文件中所承認的那樣。盧說，即使這樣的解決方案被證明是可行的，它也可能「花費數十億美元，並且需要對改良的設備進行延遲部署，以應對迅速發展的威脅數十年」。

參、衛星通信遵循自由市場原則

儘管五角大廈擔心國家安全，但是利加多似乎有望如期獲得授權。消息人士稱，發生變化的原因，既是白宮對擴大5G功能的經濟和政治利益的興趣日益濃厚，也是政府部分人士越來越意識到對GPS擔憂可能被誇大了。幸運的是，一次又一次地證明，聯邦政府的用戶可以減少頻譜持有量，而不會危及他們的重要任務。

世界通信技術的發展逐漸淡化「軍事專用」的刻板印象，但這些使用單位，尤其是五角大廈，它是美國最典型的中頻寬頻譜的最大持有者，卻非常不願意放棄一



個兆赫 (Megahertz) 的頻寬，FCC專員麥克爾·歐瑞利 (Mike O’Rielly) 在2020年4月8日所撰寫的一份《致唐納德·川普 (Donald Trump) 總統的公開信》中此描述：「簡而言之，每一個藉口、拖延戰術，和政治手段都是被用來防止任何頻譜的重新利用」^{【註7】}。利加多一再推動FCC做出批准決定，聲稱這是美國5G服務發展不可或缺的一部分。對於那些關注中國大陸5G功能不斷增長的人來說，這種觀點已引起更多人們的關注。北京曾經藉此技術在全球獲得政治影響力。

一、白宮主導新電信團隊

聯邦政府的某些高官，例如總檢察長巴爾辯稱，FCC過去已經花了很長時間決定該問題。他在2月6日的演講中說：「藉由將L波段用於上行鏈路，我們可以大幅減少完成全國覆蓋所需的基地台數量」。還有人建議，這可以將美國5G部署的時間從10年縮短到18個月，並且節省約8,000萬美元。在討論有關使用L波段的一些技術問題時，FCC必須先解決這些問題。新的「電信團隊」由川普下達執行命令，其任務是審查和評估「確定授予廠商許可證或者轉讓許可證，是否對美國國家安全或執法利益構成風險的申請」。巴爾是新小組的主席，但確實還包括國防和國土安全部長的席位。

在1月份《華爾街日報》的專欄文章中，美國國家航太總署前署長丹·高丁 (Dan Goldin) 說：「超過5,000個小時的測試表明，不會對GPS產生有害干擾」。他說，這不是技術問題；這是一個官僚主義問題。…如果我們現在不加快美國5G的部署，我們將冒著我們所努力保護的全面經濟、國家安全和技術領導地位的風險^{【註8】}。言之鑿鑿。利加多的首席執行官道格·史密斯 (Doug Smith) 在2月份要求FCC批准，稱已經等了4年，委員會才對擬議的頻譜計畫進行投票，該計畫將幫助利加多建立所需的網路。2月20日的一封信中寫道，「FCC已經掌握了做出符合公眾利益的明智決定所需的所有資訊。FCC應該立即做出決定，以便我們不要錯過這個機會，來推動美國5G的未來」。

推敲這種說法可能是庫德洛辦公室對該公司產生興趣的原因。庫德洛 (Kudlow) 擔任川普的經濟顧問，他希望在「新冠狀病毒」疫情結束之後實現經濟轉型，並表示希望提高美國自己的5G能力。在「新冠」爆發之前，庫德洛正計畫在4月的某個時候暫定在白宮舉行一次重要的5G峰會，該峰會計畫邀請包

註7 Mike O’Rielly, Federal Communications Commission Washington DC, 2020/4/8, 檢索日期2020/4/12, <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-363622A1.pdf>。

註8 Dan Goldin, “U.S. Needs Better Spectrum Policy to Win in 5G World, To speed up 5G, we need to throw out spectrum auctions entirely”, WSJ, 2020/2/7, 檢索日期2020/4/13, <https://www.wsj.com/articles/u-s-needs-better-spectrum-policy-to-win-in-5g-world-11581099210>。



括主要的電信運營商，和少數幾家較小的公司，這是美國政府對5G感興趣的另一個跡象。庫德洛曾在2019年4月的一次活動中表示，白宮傾向於「自由市場和自由企業原則」應用於5G功能建設，這應該也是川普的意思。

二、SAR衛星市場規模和主要經營者

歐盟在「地中海盆地觀測小衛星群」(Cosmo-Sky Med)計畫^[註9]中獲得了一個甚好的SAR衛星群數據成像模型，該模型已經提供了超過100萬張圖像，並且由4顆相同的SAR X波段衛星組成。它由義大利航天局、國防部和教育部以及大學資助(2007年首次發射)，現在與「達利斯阿雷尼亞太空系統公司」Thales Alenia Space Italia(Thales/Leonardo)和Telespazio的地面系統合作，有望用於第2代衛星發射(2018和2019年)，確保交付給終端的各軍方單位用戶，以及民用監控：環境、民防、天然氣和石油探勘)。(表一)(表二)

在北美，原計畫於2018年發射的Radarsat衛星群飛行任務，是加拿大政府的系統，由溫哥華的Urthecast公司運營，現在已經有兩顆MBDA製造的SAR，Radarsat 1和2，並且計畫再製造8顆，預劃其中4顆衛星群在太陽同步軌道上，另外4顆為中傾斜軌道衛星(2020~2021年)。總部位於維吉尼亞州的紐約Ursa太空公司計畫不久後發射Xpress SAR，這是其自身衛星群的一部分，其解析度可降至30公尺(亞度量)。「世界無線電通信大會」不久前甫允許分配新的X波段頻寬(

表一：總結了當前各種頻段的商業SAR運轉衛星

翻 倍 至 1 2 0 0
MHz) 的 許 可，
將 可 提 供 高 影 像
品 質 的 解 析 度。

美 國 加 州
帕 洛 阿 爾 托 的
Capella Space

公司最近宣布獲
得1200萬美元

X-band	S-band	C-band	L-band
Cosmo SkyMed CSG-2	NovaSAR S	RCM C-1	DESUNVI
Cosmo-SkyMed CSG-1	Kondor-E	RCM C-2	Tandem-L
TerraSAR		RCM C-3	SAOCOM-1A
Meteor-M-N3		Sentinel-1A	SAOCOM-1B
RISAT-2F		Sentinel-1B	SAOCOM-2A
Meteor-M-N2		RISAT-1	SAOCOM-2B
KOMPSAT-5			SMAP
SEOSAR/PAZ			RISAT-3L
OptiSAR (UretheCast)			OptiSAR (UretheCast)
XpressSAR			
PAZ			RISAT-1F
Kompsat			ALOS PALSAR-2

資料來源：George Tsiboukis, "SPACE-BASED SAR FOR REMOTE SENSING", DCSS News, Engage with Plymouth University, 2018/6/14, 檢索日期2020/4/20, <http://blogs.plymouth.ac.uk/dcscs/2018/06/14/space-based-sar-for-remote-sensing/>。

註9 譯自英文COSMO-SkyMed是由義大利研究部和國防部資助，由義大利航天局實施的對地觀測衛星天基雷達系統，旨在用於軍事和民用。太空飛船的主要承包商是阿萊尼亞·斯帕齊奧(Alenia Spazio)。該系統的空間部分包括四顆相同的中型衛星，稱為COSMO-SkyMed 1、2、3、4，裝有合成孔徑雷達感應器，覆蓋整個地球。

Laura Candela, Francesco Caltagirone, "COSMO-Sky Med: Mission Definition Main Application and Products", POL in SAR, January 2003, 檢索日期2020/4/26, <http://earth.esa.int/workshops/polinsar2003/participants/rum74/skymed.pdf>。



表二：歐盟現役主要X波段SAR衛星群系統概要

衛星群名稱	Cosmo-SkyMed(義)	Terra SAR-X(德)	PAZ(西)
運行概況	這四顆衛星在太陽同步的極地軌道中，傾斜角為 97.9° ，高度為619 km，軌道周期為97.2分鐘。	Terra SAR-X可以在514 km的極地軌道上繞地球旋轉時，獲取整個地球的新高質量雷達影像。	收集政府和商業用途的地球圖像，以及其他船舶追蹤和天氣感應器，可以在白天和晚上進行大範圍地理區域的高解析度地貌繪製。
遵循軌道	1. 每顆衛星的預期使用壽命估計為5年。每顆衛星每16天重複一條相同的軌道，所有衛星都遵循相同的低地軌道。 2. 每天在當地時間06:00和18:00越過赤道。衛星的相位相同，COSMO-SkyMed的1、2和4彼此成 90° 角，而COSMO-SkyMed 3與COSMO-SkyMed 2成 67.5° 。 3. 沿同一低地軌道的衛星之間的間隔在1到15天改變。 4. 太陽同步軌道用於使太陽能電池始終保持照明狀態。	1. 選擇的軌道要使衛星與太陽同步至黎明的軌道上飛行。 2. 它沿著地球的晝夜邊界移動，並且始終向太陽呈現相同的面，從而確保通過衛星提供最佳的能量供應。 3. Terra SAR-X的設計可獨立於天氣條件和光照執行5年，並可靠提供解析度高達1m的雷達影像。 4. 以95%的概率2.5天可到達地球上的任何一點上空。	1. Paz衛星與德國Terra SAR-X衛星群和Tan DEM-X在同一軌道上運行。 2. 高解析度影像將用於軍事偵察、邊境管制、情報蒐集、環境監測、自然資源保護、城市和基礎設施規劃、天災監測。 3. 有效載荷被發送到太陽同步的黎明黃昏軌道。
衛星群能源	42 V DC兩個3.8 kW太陽能電池	8.5 kW+太陽能電池	8.5 kW太陽能電池
導航系統	穩定導航GPS系統	NASA Geocentric系統	NASA Geocentric系統
衛星波段	X波段合成孔徑雷達	X波段合成孔徑雷達	X波段合成孔徑雷達
衛星頻寬	工作波長31mm，頻率9.6 GHz 300 Gbit 內建容量和 310 Mbit/sec接地面的數據鏈路	工作波長31mm，頻率9.6 GHz	工作波長為31mm，頻率9.65 GHz 300 Mbits/sec

資料來源：George Tsiboukis, "Space Based SAR for Remote Sensing", DCSS News, 2018/6/14, 檢索日期 2020/4/11, (筆者製表) <http://blogs.plymouth.ac.uk/dcscs/2018/06/14/space-based-sar-for-remote-sensing/>。

的資金，用於開發更小、更便宜的SAR衛星。Capella的共同創辦人Payam Bon-azadeh說：「我們正在追 地球上任何地方的每小時影像」。每顆衛星僅重100磅，將在未來4年內從36顆衛星提供黑白影像1 m解析度，首次發射計畫在2018年內進行(最初計畫在2017年第4季度發射)。但這項雄心勃勃的聲明可能需要先說服聯邦，除了五角大廈在矽谷的「國防創新部實驗組」(DIU)，企圖尋求即時觀測模式——他們需要了解例如發現北韓飛彈在發射前的跡象，當局也正在撥給預算。而像「行星」(Planet)這樣的非政府組織以前曾經承攬國防部業務監視過北韓，它如今已運行190顆衛星。2017年3月，DIU投資了Capella Space以及新型的專用運載火箭，以降低成本發射較輕的有效載重。

Capella的資金來自2007年1月「美國國會預算辦公室」的一份報告，指稱



可做為「軍事太空雷達的替代品」，該報告審視了不同的衛星群和孔徑，估計當時的計畫成本在260~940億美元之間！其結論為：以它定位機動式飛彈發射器的可能性為95%，太空雷達衛星群將需要35~50顆衛星。毫無疑問，國防部在2008年取消了這個In SAR雷達衛星群計畫。高解析度衛星對地形監視的成效非常良好。如果車輛在夜間駛過泥濘小路，地面將被壓緊1~2mm，因此，使用SAR可以很容易看到車輛的行駛路線，並且可以檢測到由於水、礦物、石油或天然氣而引起的變化。

至於「干涉合成孔徑雷達」(In SAR)^{【註10】}數據於2016年時僅在40分鐘內就檢測到了北韓核試驗。Tre Altamira和IDS Geo Radar的In SAR衛星定期監視數百公里平方的大規模採礦作業是否發生地表變形，以長期減輕風險。Sentinel-1在2017年1月6日對北韓核試爆監測的一份數據顯示垂直運動僅為7 cm。2018年底發射的南韓KOMPSAT-5衛星將監測北韓未來的測試。

中國大陸也進入了SAR戰略市場，其中有正式用於自然災害監測的C波段SAR(3噸級)「高分」3號，以及中國高解析度光電系統(CHEOS)網路的一部分，可為政府機構提供接近即時的數據，包括12種成像模式和1m解析度^{【註11】}。中國的「遙感」系列先進SAR提供了多波長、重疊、中解析度的全球影像。以色列在2008年耗資2億美元，300公斤級的X波段Tec SAR為以色列國防軍及其任務發展提供了重大飛躍；而最近南非「飛鷹」-E(Kondor-E)^{【註12】}在哈薩克斯坦發射，也可能提供SAR監視。諾斯洛普·格魯曼公司(Northrop Grumman)希望根據美國新法規，許可Tec SAR衍生的千里達(Trinidad)衛星獲得1 m的商業運轉^{【註13】}。

註10 干涉合成孔徑雷達(英語: Interferometric synthetic aperture radar, 縮寫: In SAR或If SAR)是一種應用於測繪和遙感的雷達技術。這種測量方法使用兩幅或多幅合成孔徑雷達影像圖，根據衛星或飛機接收到的回波的相位差來生成數字高程模型或者地表形變圖。

Roland Brämann, Paul A. Rosen, Eric J. Fielding, Synthetic Aperture Radar Interferometry to Measure Earth's Surface Topography and Its Deformation. Palo Alto, California: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, May. 2000. 檢索日期2020/4/21, <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.earth.28.1.169>; Didier Massonnet, Kurt L. Feigl, Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface(D.C.: Review of Geophysics, 1. Nov. 1998, 36(4)), p.441-500.

註11 Chun ling Lu, "GF-1 (Gaofen-1) High-resolution Imaging Satellite / CHEOS series of China", eo Portal Directory, 檢索日期2020/4/22, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/g/gaofen-1>。

註12 Kondor的GRAU索引號為14F133，是NPO Mashinostroyeniya開發的一系列地球影像或軍事偵察衛星，供俄羅斯宇航防衛軍和出口客戶使用。俄羅斯軍方的衛星被指定為“Kondor”，而出口的衛星被指定為Kondor-E。Gunter Dirk Krebs, "Kondor-E", Gunter's Space Page, 2019/5/21, 檢索日期2020/4/22, https://space.skyrocket.de/doc_sdat/kondor-e-1.htm。



三、海事衛星之未來應用

洛克希德·馬丁公司 (Lockheed Martin) 開發了第一個可操作的L波段Seasat SAR，徹底改變了偵察影像技術^{【註14】}。Seasat展示了廣泛的海事應用：沿海現象、測深儀、船舶及其浪高，首次提供了25 m解析度的北極冰和渦流圖像。它對遠洋觀測的船艦在漁獲和運輸管理，以及國防安全方面發揮至關重要的作用。現階段的海洋觀測在很大程度上仍然取決於海岸防衛隊的船隻和飛機，這兩種傳統方法都很昂貴，並且受搜索區域、時間和天氣的限制。SAR衛星為全天候/夜間使用提供了一種新的高解析度工具。正在開發用於檢測水面艦艇的演算法，以應對海洋救援需求的快速增長，如果成功，Capella計畫中的衛星群(用於監視港口、儲油庫和城市)將發揮重要作用。

目前提出的幾種天基SAR系統之一是「芬蘭冰眼」(Finish Iceye)小衛星群^{【註15】}，該衛星群用於北極冰層觀測，這是阿爾托大學和史丹福大學之間的一項衍生研究項目(成立於2012年)，因其Cube sat的開發而得到聯邦認可。Iceye藉由印度的PSLV-C40火箭搭載發射了首顆SAR微衛星，將其首顆100公斤級SAR衛星送入軌道，並展開了芬蘭的第一個商業衛星業務。他們正在尋找6-8顆衛星群，以用於國土規劃、海洋溢漏監測、地下考古和礦藏探測等應用。Monsch(2017年6月1日)網站在線報導了近地太空的納米衛星和微衛星開發的爆炸式增長。佔有地球軌道位置的輕型SAR衛星編隊，對於通信微推進技術和先進電池的發展，以及更快的處理能力將變得越來越重要。

對於製造商和客戶端而言，重要的是能提供晝夜、全天候、多模式功能，但衛星運行的持久性卻還在其次的考量。晝夜/全天候可靠的長期和短期觀測的關鍵功能，被認為是可以保證衛星品質的門檻。分為兩種基本模式：

- (一) 多模式：這些功能藉由不同的影像和觀測模式，例如：近即時、干涉測量、地理位置和多個波段(圖一)。
- (二) 持久性：定期進行探測還可以獲取長期數據(包括後續任務和可相互操作的系統協作特性)。大多數國家和企業都看到了實現天基SAR成功商業化的長期願望，並依靠與衛星群的夥伴關係，提供超高解析度的SAR數據(圖二)。

註13 William Furlong, "TRINIDAD Responsive, Spaceborne SAR Capability", Northrop Grumman, 檢索日期 2020/4/20, <https://www.northropgrumman.com/space/trinidad/>。

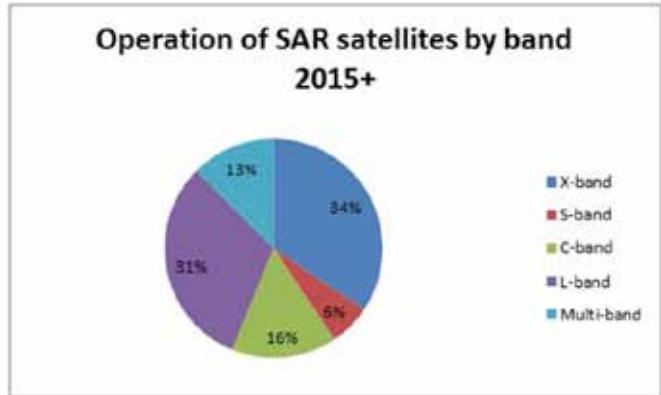
註14 News, "Synthetic Aperture Radar: "Round the Clock Reconnaissance", Lockheed Martin, 檢索日期 2020/4/25, <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/history/sar.html>。

註15 Jonathan Amos, "Finnish start-up ICEYE's radical space radar solution", BBC, 2018/1/12, 檢索日期 2020/4/25, <https://www.bbc.com/news/science-environment-42648391>。



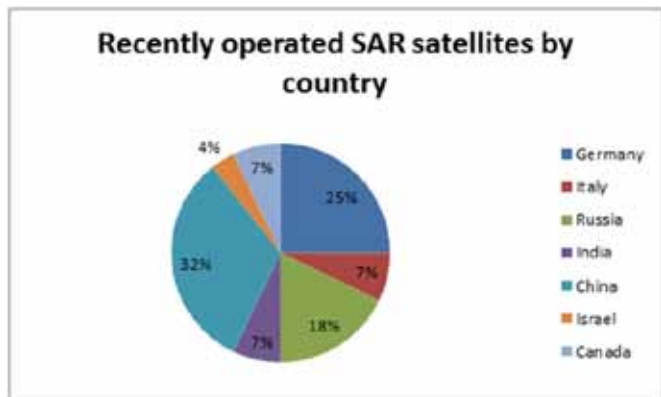
歐盟的航太防務大廠「空中巴士」DS傾向於根據用戶要求進行操作，而不是擬定自己的任務計畫（但系統開發風險成本通常會禁止這種方法）。空中巴士DS在系統設計，主動微波功率模組、電子和機械掃描組件，以及服務領域擁有豐富的經驗，而在衛星AIS（S-AIS）和無線電頻率（RF）定位方面則沒有那麼多的經驗。空中巴士任務目前生產約90 Giga-bytes（千兆赫）/日，對於下一代衛星，將提高到200~300 GB的頻寬。下一代系統的天基SAR重量將從1.4噸增加到2噸，需要搭載數百個電波信號發射器。SAR為客戶提供針對工業、國防和政府的商業監測服務。現在，大多數製造商都使用COTS系統以及他們自己開發的GaAs（砷化鎵），GaN（氮化鎵）和SiGe（矽鍺）材料衛星模組以及固態接收器。

Terra SAR-X（9.65 GHz）和Tan DEM-X是當前任務，而HRWS和World SAR是下一代任務。現役世代的衛星可以提供40 m解析度的度量，而下一代系統將提供0.25 m解析度的海事信號檢測模式和更大的覆蓋範圍。Terra SAR（啟用於2007年），而Tan DEM（啟用於2010年，均延長至2022年）。HRWS將在2022年開始，計畫服役壽命為10年。其他來源則強調國防、安全（陸上和海上）、廣域監視、衛星和空中。也曾與成功的海上Osprey SAR系統製造商Leonardo有進一步討論，強調將航空或以遙控飛行載具（UAV）轉應用於天基SAR系統的困難，特別是在尺寸和重量限制層面均有待克服。



圖一：2015年以降的SAR衛星頻段運行比例

資料來源：George Tsiboukis, "SPACE-BASED SAR FOR REMOTE SENSING", DCSS News, Engage with Plymouth University, 2018/6/14, 檢索日期2020/4/20, <http://blogs.plymouth.ac.uk/dcscs/2018/06/14/space-based-sar-for-remote-sensing/>。



圖二：近年世界各國使用SAR衛星之比例

資料來源：George Tsiboukis, "SPACE-BASED SAR FOR REMOTE SENSING", DCSS News, Engage with Plymouth University, 2018/6/14, 檢索日期2020/4/20, <http://blogs.plymouth.ac.uk/dcscs/2018/06/14/space-based-sar-for-remote-sensing/>。



空巴防務航太集團和SAR儀器製造商，於2008年成功發射了PAZ(西語「和平」)，項目於2017年第4季度結案。PAZ為政府影像應用、情報、防範天然災害，以及S-AIS(X波段下行鏈路300兆位Mbit/秒s)提供數據。PAZ的重量僅為140公斤，可提供高達1 Terabyte(兆位元)/日的高數據速率(S和X頻段)，400~700W的功率(取決於模式)，耗資超過1億歐元，研發團隊有50多人在執行任務。PAZ使用的GaN TRMS頻寬為1200 MHz，目前解析度大於1m，但下一代PAZ 2將提供0.25m的解析度，將使科學界和政府單位觀測能力受益^{【註16】}。

結語：高解析度衛星頻寬開放將帶動通信市場發展

綜觀近年美國與歐盟在「合成孔徑雷達」(SAR)與「低軌衛星遙測」(Low Orbit Satellite)技術的相結合，說明此一高科技的發展，已逐漸蔚為跨軍民通用高科技的優先共識，SAR技術在全天候對地表測量的清晰度與小投資、高報酬的特質，也是甚多其他觀測技術在現階段所不能達到的重點，不僅對世界各國國家與國防安全助益良多，由於SAR衛星為不受日夜天候影響的主動式遙測系統，已獲得廣泛應用在非傳統安全的災害防範與救難科目，不僅可有全天候與大面積觀測優點，適合台灣的氣候使用，也可利用飛機、無人飛行載具(UAV)或人造衛星作為載具，支援救災、資源探勘、科學研究，還可利用高調制訊號頻寬在載具飛行方向上虛擬天線的合成訊號，獲得所需距離及方位和高解析度資訊。

至於在5G時代，對於新通信系統架構的建立，已然和都會與城鎮的基本公共建設項目密不可分，美國聯邦政府在對頻寬釋出的態度上，也終將隨市場的需要與國際競爭的原則，按軍民通用波段的分配比例採取開放式營運，以期讓各種頻寬的使用率與佔有率，能隨未來新一代SAR系統的部署而更形擴大，預估除將形成市場競爭機制之外，在世界高端遙感通信技術朝「多極化」發展的前提之下，美國更能以既有的軍用頻寬優勢在歐盟市場取勝於中、俄同級衛星廠商，這一點，也同樣是我國科研技術單位廠商需要特別關注的發展趨勢。

作者簡介

軍事科技作者 耿志雲

學歷:國防大學復興崗政研所中共解放軍研究組軍事學碩士，曾任軍事刊物編輯、作者，國際電子戰協會會員。

註16 Verdict Media Limited, "Paz Earth Observation Satellite", Air Force Technology, 檢索日期 2020/4/23, <https://www.airforce-technology.com/projects/paz-earth-observation-satellite/>。