



軍 事 科 技

衛星遙感技術 應用與發展之探討

星載合成孔徑雷達遙感技術高解析度影像之軍事需求引領商用衛星工業

軍事科技作者 耿志雲

提

要

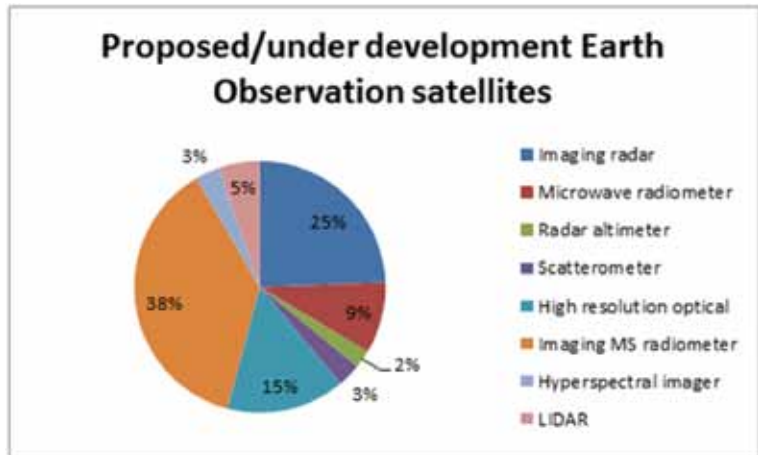
- 一、遙感技術是在不與物體物理接觸的情況下獲取有關物體或現象的資訊，因此，與現場觀察形成對比。遙感應用在許多領域，包括：地理、土地測量和大多數地球科學學科；它還具有軍事、情報、商業、經濟、計畫和人道主義的各種價值的應用層面。
- 二、在目前各國的使用術語中，「遙感」通常是指從衛星或飛機搭載的感應器技術投射傳播的信號，來檢測和分類地球上包括表面、大氣層和海洋中的物體，並對其進行情報資料的分類。它可以概分為「主動式」遙感（當衛星或飛機發出信號並且通過感應器檢測到物體的反射時）和「被動式」遙感（當太陽光被反射時，由感應器檢測到的信號）。

關鍵字：地球遙感觀測、合成孔徑雷達、衛星群系統

壹、前言

高精密度的衛星影像在軍事用途方面無可替代，其近乎全年的實用性品質，敦促了衛星數據的業者們，重新評估其開展業務的方式。儘管被動式光學感應器通常藉由多光譜或窄頻的高光譜光學系統，提供的衛星圖像通常具有10 cm的解析度，

但它們仍受制於日間、惡劣天氣、煙霧和其他戰場偽裝的限制。首選的軍事解決方案是成像雷達，該雷達能夠在黑暗中，與具有挑戰性的戰場和環境條件下運行。商業用途的軍事衛星市場很大，但由於政府和跨國際單位（例如歐盟的「哥白尼計畫」）^{【註1】} 希望向終端用戶迅速提供詳細的大範圍視野影像，因此，民用市場被發展的潛力更大。目前，有超過30種研擬中的衛星雷達感應器，其中許多將在未來10年內製成（圖一）。



圖一 擬議/研製中的各種地球觀測衛星比例

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/>。

新世代的遙感技術向智能數據分析、融合光學和合成孔徑雷達(SAR)數據，提供量身定制的客戶特定產品(而不只是衛星測繪的影像)，以尺寸較小的零組件系統提高SAR和地球觀測數據的實用性、解析度和降低功耗模式的趨勢十分明顯。降低任務和影像成本也面臨著挑戰。隨著高解析度功能的融合，對持久性的需求也越來越高。基於軟體的多偏極化(Polarization)，頻率和多模式將增加，同步衛星群、多功能的星載和地面系統，將逐漸增強低軌道(Low Earth Orbit—LEO)，中軌道(Medium Earth Orbit—MEO)和地球同步軌道(Geostationary Orbit—GEO)各種衛星的能力、可靠性和靈活性。經營者必須針對不同應用層面優化衛星群，這就需要常態觀測和廣角影像來達成，而數位波束成形的改良，將進一步減少地球雜波對遙感的干擾。再如Cosmo-Sky Med(義大利的天基遙測用小衛星群)使用的未來鋰離子電池(而不是鎳基電池)將使每公斤電池能量增加一倍。

在前述背景下，現有的大型SAR系統製造商擁有豐富的經驗，但是要想大幅降

註1 哥白尼計畫(Copernicus Programme)，又稱：全球環境與安全監測計劃(Global Monitoring for Environment and Security) (GMES)，由歐洲理事會和歐洲太空總署聯合倡議，於2003年正式啟動的一項重大航天發展計畫，主要目標是通過對歐洲及非歐洲國家(第三方)現有和未來發射的衛星數據及現場觀測數據進行協調管理和集成，實現環境與安全的實時動態監測，為決策者提供數據，以幫助他們制定環境法案，或是對諸如自然災害和人道主義危機等緊急狀況作出反應，保證歐洲的可持續發展和提升國際競爭力。「哥白尼計畫」是繼「伽利略計畫」之後又一個以著名科學家命名的重大科技發展計畫。

ESA, "What is Copernicus?", Copernicus, 檢索日期2020/4/20, <https://web.archive.org/web/20181103182626/http://www.copernicus.eu/main/overview>。



低成本，就需要改變運營思路。以位於美國加州的Capella這樣的小型新興初創公司為例，基本能量建立在經驗豐富的國防工程師的基礎之上，但要想取得市場成功，就必須勝過像空巴防務與航太集團(Defense & Space)和加拿大MDA這樣的大企業集團。Capella認為，其未來的網路可以與昔日的五角大廈「長曲棍球衛星」(造價約5~10億美元)的影像質量匹敵。世人很快就會知道它們是否獲得正確的應用。

貳、遙感衛星技術的發展與功用

被動傳感器觀測物體或周圍區域發出或反射的輻射。反射的陽光是這種測量的常見的輻射源。被動遠程傳感器的基本單元，包括相機底片攝影、紅外線、電荷耦合設備和輻射計。另一方面，主動觀測發射能量以掃描物體和區域，傳感器隨後檢測並測量從目標反射或反向散射的輻射。雷達(RADAR)和光學雷達(LiDAR)是主動遙感的代表技術，其中可以測量電波發射和反射之間的時間延遲，從而確定物體的位置、速度和方向。

一、遙感技術的發展

從第一次世界大戰開始，系統化的航空攝影被發展用於軍事觀測和偵察的目的。並在冷戰期間達到高潮，使用改良的戰鬥機(例如P-51、P-38、RB-66和RF-4C/E)或專門設計的情報載具(例如U-2/TR-1、SR-71、A-5和OV-1系列)均採用空拍和遠距觀測。近年的發展是在載人和無人載具上搭載越來越小的感應器莢艙，例如執法和軍事單位使用的感應器莢艙。這種方法的優點是，需要對特定的機身進行最小幅度的修改，以便於加裝後來的熱影像技術模組，包括紅外線、傳統的都卜勒和合成孔徑雷達。直到20世紀下半葉，人造衛星的發展使遙感技術在冷戰結束之初已發展成全球化的部署。

例如Landsat^{【註2】}，Nimbus^{【註3】}之類的各種地球觀測和氣象衛星上的模組儀器，以及RADARSAT^{【註4】}和UARS^{【註5】}之類的最新任務為民用、科學研究和軍

註2 陸地衛星計畫是運行時間最長的地球觀測計畫，1972年7月23日地球資源衛星(Earth Resources Technology Satellite)發射，後來此衛星被改稱為陸地衛星(LANDSAT)，最新的陸地衛星是2013年2月11日發射的陸地衛星8號(LANDSAT 8)。

N.M. Short, "The LANDSAT Tutorial Workbook: Basics of Satellite Remote Sensing", NASA Reference Publication 1078, NASA, July. 1982, 2013/7/28, 檢索日期2020/4/11, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19830002188.pdf>。

註3 Nimbus衛星是用於氣象研究和開發的第2代美國機器人太空船。該航天器旨在用作面向地球的穩定載具，用於測試先進系統以檢測和收集大氣科學數據。1964年8月28日，7艘Nimbus航天器從Nimbus 1開始進入太陽同步軌道近極。Nimbus衛星上裝有用於在不同光譜區域進行影像探測和其他研究的各種儀器。

Rebecca Lindsey, "Nimbus: 40th Anniversary", NASA Earth Observatory, 2005/7/19, 檢索日期2020/4/20, <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Nimbus>。



事目的提供了各種數據的全球測量。遙感對其他行星的太空探測器，也已實現了在地球外環境中進行研究的機會，NASA「麥哲倫號」飛船(Magellan spacecraft)^{〔註4〕}上的合成孔徑雷達提供了對金星的詳細地形圖，而「太陽和太陽圈探測器」(Solar and Heliospheric Observatory—SOHO)^{〔註7〕}上的儀器則允許對太陽和太陽風進行研究。

二、遙感技術的功用

衛星遙感技術擔任在各種時空尺度上觀察地球表面的組成和動態過程。遙感活動涉及各種功能面向的遠端操作，以及近距離傳感數據和研究方法的發展，與廣泛的應用相關。遙感數據主要是從高空中或太空獲取的，通常在野外環境或實驗室進行現場測量來補充數據，近年附加了無人機(UAV)的輔助操作。

遙感技術是根據並且結合了多光譜和高光譜技術、雷達技術和熱測量。重點是遙感技術的應用以及開發，多用於分析和擷取詳細資訊、新的自動化方法和標準。遙感方法的應用和發展為開展國家和國際層面的地質調查、地質災害、環境探勘、土壤和水資源的分析、測繪和評估提供了基礎。

此外，各國遙感技術多與來自國家和國際地質調查局、研究機構和專門行業的合作單位，就有關遙感應用和研究方法的不同主題進行合作。遙感還能根據最新的科學和技術標準，為政府單位、社會團體和公司行號提供專業建議。

三、合成孔徑雷達遙感

影(成)像雷達，或者更準確地說是「合成孔徑雷達」(Synthetic Aperture

註4 RADARSAT是由加拿大航天局(CSA)監督的加拿大遙感地球觀測衛星計畫。

“RADARSAT-1”，NASA Science, 1995/11/4, 檢索日期2020/4/19, <https://science.nasa.gov/missions/radarsat>。

註5 高層大氣研究衛星(Upper Atmosphere Research Satellite, UARS)是一顆探測地球大氣尤其是臭氧層的科學探測衛星。這顆5900公斤重的衛星是在1991年9月由發現號太空梭的STS-48任務帶入太空的，並在1991年9月15日到遠距地面高度為600公里的運行軌道，其軌道傾角為57度。

Michael K. Heney, “UARS Instruments”, 2005/11/1, 檢索日期2020/4/22, <https://uars.gsfc.nasa.gov/>。

註6 麥哲倫號太空船，也稱為金星雷達製圖者，是美國國家航空暨太空總署(NASA)於1989年5月4日發射，使用合成孔徑雷達繪製金星表面地圖和測量行星引力場的機器人太空探測器。

NASA/JPL, “A Newsletter for Persons Interested in the Exploration of Venus”, V-gram, 1986/3/24, 檢索日期2020/4/19, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19860023785.pdf>。

註7 太陽和太陽圈探測器(Solar and Heliospheric Observatory, SOHO)是由以馬特拉馬可尼航太公司(現在的阿斯特里姆)為首的歐洲工業財團製造，使用洛克希德馬丁的擎天神2號運載火箭於1995年12月2日發射。它是研究太陽的太空船，迄今已發現超過3,000顆彗星。

Sarah Loff, “3,000th Comet Spotted by Solar and Heliospheric Observatory (SOHO)”, NASA, 2015/9/15, mod. 2017/8/7, 檢索日期2020/4/20, <https://www.nasa.gov/image-feature/3000th-comet-spotted-by-solar-and-heliospheric-observatory-soho>。



Radar—SAR)^{【註8】}可以繪測船舶、車輛和飛機的2D或3D圖像。SAR系統通常安裝在飛機或衛星等移動載具上，起源於1950年代的「側視空用雷達」(Side Looking Airborne Radar—SLAR)^{【註9】}。目前的發展趨勢在於希望在提高解析度和縮小零件尺寸方面，提供越來越多的改良，其中包括對植被的穿透、改良的頻寬、掃描和聚束模式，以及用於戰場偵察和武器投擲中，所需情報獲取的快速數據資料。為了測繪SAR圖像，微波能量的連續發射脈衝照亮了目標，並以頻率、幅度和相位記錄了相應的回波序列，多以使用單波束成形天線。目前星(機)載系統的波長在3 mm至1 m之間，通常呈現10 cm的解析度，而超寬頻系統僅呈現幾mm的解析度。實際上，合成孔徑的大小，是載具速度和積分週期二者的數值乘積，因此，對於天基SAR雷達而言，合成孔徑可以達數百公尺長。現有技術以兩種SAR選項最為普遍：

- (一) SAR採用主動電子掃描陣列(AESA)收發模組(TRM)。
- (二) 傳統的天線基座反射器，例如德國國防部的SAR-Lupe(2006年推出)，AESA的優勢是電子波束控制，而反射器天線通常更輕便且便宜。

由衛星搭載的SAR通過微波輻射掃描地球表面，SAR天線發射微波脈衝並接收來自地球表面的反向散射回波，基於此回波，可以產生高解析度影像數據和數位化產品。與其他影像遙感方法相比，SAR技術具有幾個特殊功能。一方面，即使在陰天和夜晚，也可以觀察地球表面；另一方面，可以得出諸如SAR天線的觀察方向上的反向散射係數，或者路徑長度差異之類的物理變量。反向散射係數取決於所觀察表面的物理性質。

雷達遙感主要特性是表面粗糙度、幾何形狀和電介質特性，主要受地球表面水分的影響。雷達遙感的另一個重要特徵是穿透深度，即相對於所使用的波

註8 合成孔徑雷達(英語: synthetic aperture radar, SAR)，又譯成「合成口徑雷達」，屬於一種微波成像雷達，也是一種可以產生高解析度圖像的(航空)機載雷達或(太空)星載雷達。它在早期係使用透鏡成像機制在底片(膠卷)上形成影像，目前則以複雜的雷達數據後製方法來獲得極窄的有效輻射波束(對產生的雷達圖像意味著極高的空間解析度)。它一般安裝在移動的載具上對相對靜止的目標成像，或反之。自合成孔徑雷達發明以來，它被廣泛的應用於遙感和地圖測繪。

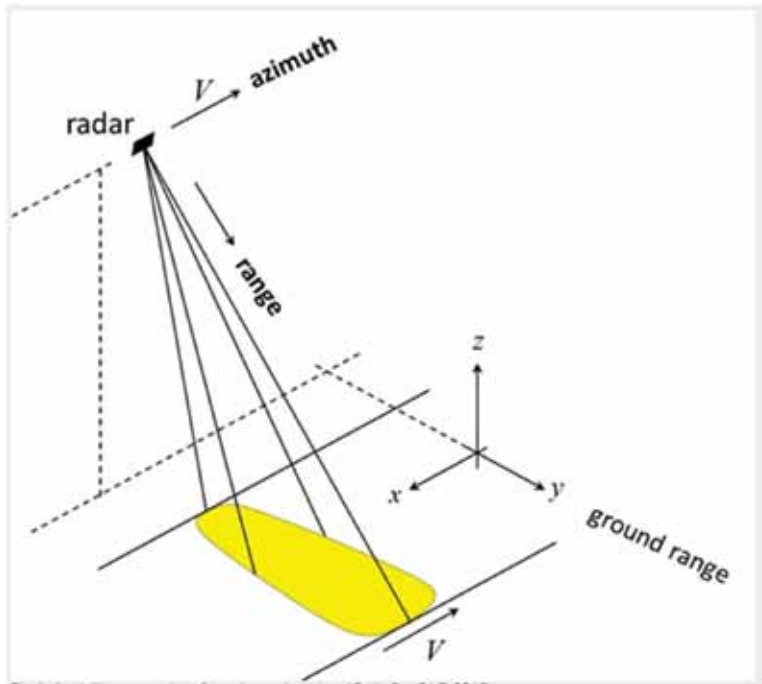
DARPA, "Military Imaging and Surveillance Technology (MIST) (Archived)", Program Information, 檢索日期2020/4/24, <https://www.darpa.mil/program/military-imaging-and-surveillance-technology>; Kirscht, Martin, and Carsten Rinke, 3D Reconstruction of Buildings and Vegetation from Synthetic Aperture Radar (SAR) Images. Maryland: MVA, 1998.

註9 SLAR翻譯自英文「側視空用雷達」是一種安裝在飛機或衛星上的成像雷達，指向垂直於飛行方向，斜視模式也是可能的。SLAR可以安裝標準天線或使用合成孔徑的天線，雷達載具沿X軸方向移動。雷達以觀察角 θ 「觀察」。X軸與視線之間的夾角 α 稱為「錐角」，X軸與視線對平面的投影之間的夾角 ϕ 稱為「方位角」。錐角和方位角的關係是 $\cos \alpha = \cos \phi \cdot \cos \epsilon$ 。

Christian Wolff, "Side Looking Airborne Radar (SLAR)", radartutorial.eu, 檢索日期2020/4/17, <https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab06.en.html>。



長，對疏鬆的沉積物和植被的穿透深度。就地球科學的遙感而言，表面粗糙度的測量是重要的參數，因此它與光學遙感技術一起用於地質製圖。穿透鬆散沉積物的能力是構造圖的重要參數；穿透植被的能力是地質和構造測繪的重要特徵。以雷達數據的目標識別，對於雲層覆蓋頻繁區域的地球科學應用特別重要，例如，以長時間解析度檢測地表變化，以及在地質災害範疇內進行的其他監測，和連帶的固定（非）採礦活動監測。



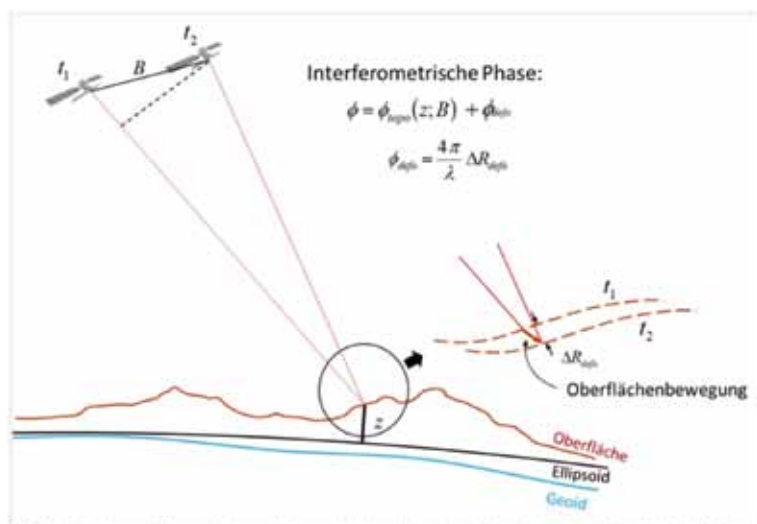
圖二 雷達系統的觀測幾何形狀(聯邦地球科學與自然資源研究所(BGR)在2015年之後修改)

資料來源：https://www.geotechnologien-aida.de/EN/Themen/GG_Fernerkundung/Bilder/radar-aufnahme-geometrie_g_en.html;jsessionid=10313AAF4E63FA5E0FC1FD3ABDC2C3DE.2_cid292?nn=1559828。

相對路徑長度差的確定是基於兩個SAR圖像的相位疊加(圖二)。這種所謂的「干涉測量階段」可用於演算出數位化高級模型，或監視隨時間變化的表面位移現象(圖三)。

部分遙感藉由SAR測量儀，用於監視大面積的表面位移，從而有助於進行災害分析和空間規劃。為此，應採用「持久散射體測量法」(Persistent Scatter Measurement)和(或)「小基線子集演算方法」(Small Baseline Subset Algorithm)。結果是每個長期相關的反射波，在整個觀測時間內的平均速度和位移的時間序列。為了保證品質，藉由現場調查和具有獨立數據集的統計分析，來驗證觀測到的表面位移。最後，將已通過驗證的數據產品與地球科學數據與「全球導航衛星系統」(Global Navigation Satellite System—GNSS)影像集疊加，以解釋觀測到的位移現象。

遙感技術讓觀測地表危險或蠻荒地區的數據成為可能。遙感應用在包括監測亞馬遜盆地等地區的森林砍伐、北極和南極地區的冰川特徵，以及沿海和海



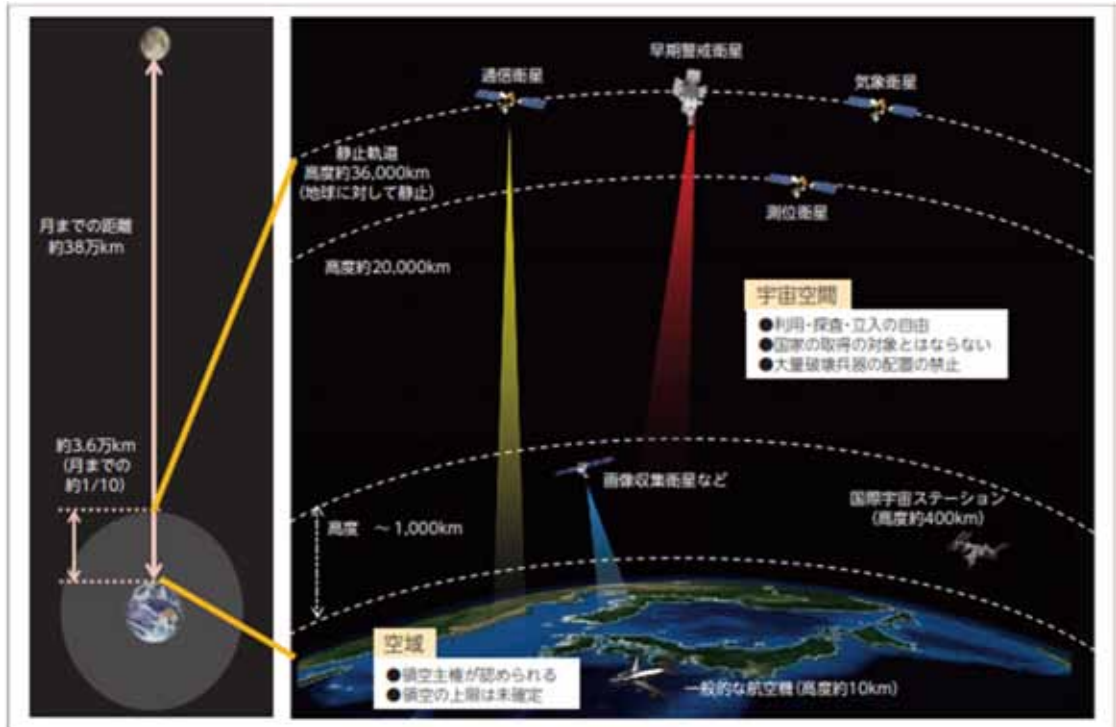
圖三 干涉相位 (Φ)，地形相位 (Φ_{topo}) 和微分相位 (Φ_{diff}) 之間的關係 (德國聯邦地球科學與自然資源研究所 (BGR) 在2015年之後修改)

資料來源：https://www.geotechnologien-aida.de/EN/Themen/GG_Fern-erkundung/Bilder/phasenzusammenhang_g_en.html?nn=1559828。

洋深度的測深。上個世紀「冷戰」期間的軍事觀測，也利用了遙感對高風險邊界地區的數據情蒐。遙感還取代了昂貴且緩慢的地球表面數據收集技術，確保在此過程中不會干擾區域或目標。近地軌道衛星載具觀測並傳輸來自電磁頻譜不同部分的數據，再結合大規模的空中或地面感應和分析，為研究人員提供了足夠的資訊來監測諸如「聖嬰現象」以及其他自然界的現象趨勢。其他用途包括地球科學的不同領域，例如：自然資源管理、農業土地使用和保護，以及國家安全和邊境地區的地面和部署單元的情報資料。加快SAR衛星遙感技術的投資與建構，對國家安全與國土資源開發都存在不可或缺的元素。(圖四)

參、遙感衛星市場的競逐

在天基系統的對抗戰中，特別是對美國衛星而不僅僅是SAR系統，存在明顯的SAR漏洞。儘管中國大陸越來越依賴衛星，而且美國的區域和全球衛星導航系統、海洋監測、合成孔徑雷達，以及改良的通信和遙感衛星越來越多，但俄羅斯和中國肯定會設法消滅它們。「高分3號」是由「長征4C」火箭發射的SAR系統，俄羅斯的Kondor系列也是如此 (用於出口的Kondor-E使得南非獲得了2014年第4季度的第一個SAR)。俄羅斯最近要求Astrium以4.93億美元的價格，提供類似Terra SAR-X和TanDEM-X的系統，這是英國SSTL/Astrium Nova SAR-S成本的十倍，後者是採用行動電



圖四 防情傳遞系統之衛星運用概念圖。以20,000~36,000公里高空的觀測/低軌道運行衛星為防情鏈路通聯主力單元，微波(含「合成孔徑雷達」SAR)屬於通信與觀測衛星運用。

資料來源：防衛省，《平成30年版防衛白書》（東京：防衛省，2018年），第3部，第1章，第2節，頁330。

話相關技術的4,500萬英鎊系統。

NISAR是NASA-ISRO之間的一個聯合研發項目，從2020年開始提供L和S波段極化率SAR，空中巴士國防航太公司最近贏得了一項製造「固態接收器」的合約。雖然像澳大利亞這樣的其他國家和地區目前正在評估SAR，以彌補能力差距，包括購買SAR、與其他國家部分擁有所有權、擁有自己的民用/軍用SAR，或純粹的民用SAR的選擇（不太可能在短期到中長期製成），以目前的星載SAR能力(INGARA)為基礎，太空雷達會生成大量原始數據。由於將其轉化為可用情報所需的演算法很複雜，因此，大多數的數據處理是在地面，而不是在衛星上執行的。

一、SAR衛星產業趨勢

以2020~2026年美國的衛星產業分析報告、區域展望、增長潛力、競爭性市場比例與預測，合成孔徑雷達(SAR)的市場規模依波段而論(單波段計有：X波段、C波段、L波段、K/Ku/Ka波段，與多波段)，它們藉由零組件(接收器、發射器、天線)，藉由載具(航天器、飛機、無人機)，和藉由終端用途(研究與商業應用的公共、安全、環境監測、自然勘探，與國防)各種目的加以概略



表一 合成孔徑雷達市場報導的範圍

報告範圍	詳細內容		
基準年	2019	2019 年市場規模	40 億(美元)
歷史數據	2015~2019	預測期	2020~2026
2020 年至 2026 年的 預測複合年增長率	10.6%	2026 年價值預測	900 萬(美元)
頁數	230	表格圖表和數字	334
涵蓋的區位(20 國)	美國，加拿大，英國，德國，法國，義大利，俄羅斯，西班牙，中國大陸，印度，日本，澳大利亞，南韓，阿聯酋，以色列，沙烏地阿拉伯，南非，土耳其，巴西，阿根廷。		
涵蓋的細分項目	成分、波段、應用、終端用途和地區		
覆蓋的公司(23 家)	空中巴士 SAS，Capella Space，哈里斯公司，芬蘭冰眼，以色列航太工業，OHB Systems AG，MDA 公司，諾斯洛普·格魯曼公司，雷神公司，達利斯集團，Urthe Cast 公司，BAE 系統，洛克希德·馬丁公司，TERRASIGNA，Sky Geo，TRE Altamira，CGG，Ground Prode，紳寶 AB，Leonardo SpA，Aselsan SA，Cobham plc，通用原子公司		
增長動力	• 將 SAR 用於軍事觀測和進行中的研究活動增多 • 支持性政府計畫，以提高對太空態勢的認識 • 合成孔徑雷達的衛星發射不斷增加，技術不斷進步 • 正在進行的環境災害和地球觀測空間計畫 • 以 SAR 系統以打擊恐怖主義活動的需求不斷增長		
陷阱與挑戰	SAR 的高昂開發成本		

資料來源：Preeti Wadhvani, "Industry Trends", Aerospace and Defense, Global Market Insights, Jan. 2020, 檢索日期2020/4/22,
<https://www.gminsights.com/industry-analysis/synthetic-aperture-radar-sar-in-space-sector-market>。

區分。

2019年時，合成孔徑雷達市場規模超過40億美元，預計到2020~2026年，複合年增長率將超過10%。SAR與飛機、無人機和衛星的有效整合使它們能夠獲得解析度小於5m的數據。分析這些數據，可以為各種目的的運作提供重要情報資訊。衛星產業業者正在不斷升級數據分析工具，藉此可以提供更精確的資訊。有了這些情報，各種機構和政府單位就可以查明天然資產和其他環境變化。第三方合約者可與SAR業者合作，以藉由數據分析提高利潤。全球各種政府單位和獨立組織，對合成孔徑雷達產業不斷增加的投資，正在推動世界各地的發展。各國政府為提高內部產能而採取的各種舉措，例如，「印度製造」和「中國製造」的企圖，也將對全球市場規模產生積極影響。(表一)

二、SAR在國防計畫中的應用增加

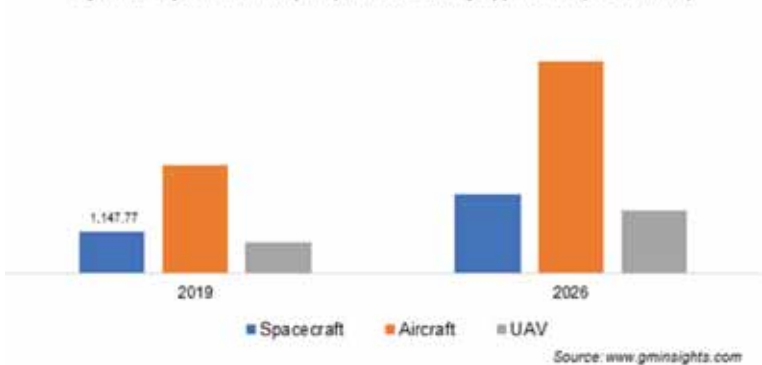
國防領域在2019年佔據了SAR高達58%以上的市場比例，估計在預測時段內將繼續保持主導地位。由於地緣政治緊張局勢的加劇，各國開展了越來越多



衛星觀測活動。例如，2019年8月，在美國芝加哥發現了一架俄羅斯間諜飛機從事觀測飛行【註10】。美、俄兩國之間的齟齬增加，加速了對彼此的觀測活動，也增加了市場機會。主要的國防承包商正在致力拓展長期交付不確定數量(Indefinite Delivery Indefinite Quantity—IDIQ)合約，以便向各國防單位提供重要的軍事數據。(圖五)

合成孔徑雷達市場中的飛機應用領域佔據了最大的產業比例，在2019年佔60%以上。SAR技術在商用和軍用飛機中，與C4ISR相關的廣泛應用將支持市場的增長。例如，2017年9月，IMSAR藉由增加其「微型合成孔徑雷達」(稱為NSP-5 ER)的增程版本加強了其產品功能。新的SAR雷達將搭載在更快的飛機上從更高的高度運行。該產品的主要目標市場是大型飛機，但也可以部署在無人機上。SAR的無人機市場將因其廣泛的應用範圍，減少機上對操作的人工需求，以及較低的製造和運營成本，而具有最高的

Synthetic Aperture Radar (SAR) Market Size, by Application (USD Million)



圖五 適用於商業和國防的小型化SAR系統增長推估

資料來源：Preeti Wadhvani, "Industry Trends", Aerospace and Defense, Global Market Insights, Jan. 2020, 檢索日期2020/4/22, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/synthetic-aperture-radar-sar-in-space-sector-market>。

Asia Pacific Synthetic Aperture Radar (SAR) Market Share, 2019



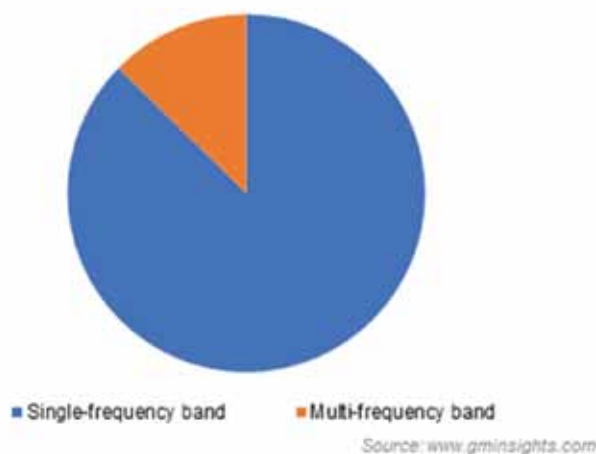
圖六 亞太地區近年攀升的SAR衛星市場

資料來源：Preeti Wadhvani, "Industry Trends", Aerospace and Defense, Global Market Insights, Jan. 2020, 檢索日期2020/4/22, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/synthetic-aperture-radar-sar-in-space-sector-market>。

註10 Corazon Miller, "Russian 'spy' plane is spotted over the Midwest on a surveillance mission of strategic defense assets in Hawaii", Mail on line, 2019/8/16, 檢索日期2020/4/18, <https://www.dailymail.co.uk/news/article-7364351/Russian-spy-plane-spotted-Midwest.html>。



Synthetic Aperture Radar (SAR) Market Share, by Frequency Band, 2019



圖七 下一代SAR系統的各種頻寬波段比例圖

資料來源：Preeti Wadhvani, "Industry Trends", Aerospace and Defense, Global Market Insights, Jan. 2020, 檢索日期2020/4/22, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/synthetic-aperture-radar-sar-in-space-sector-market>。

增長潛力。相關產業都在參與開發低成本、高精度的無人機，這些無人機可用於國防和商業目的。例如，在2019年5月，美國「科學與工業研究理事會」(CSIR)宣布他們正在為飛機、無人機和衛星開發新的SAR技術。(圖六)

亞太地區為滿足有效觀測和通信網路需求的增長，而增加的發射衛星正推動著市場收入的增長。與各國進行合作以加快現有太空計畫，並且提高自主能力將仍然是太空領域的主要戰略。亞太地區的合成孔徑雷達市場在2019年佔據了27%以上的收入比例，這得益於主要參與業者對該地區投資的增加，例如，2019年5月，芬蘭「冰眼」(ICEYE)與「亞太衛星公司」(Asia Pacific Satellite, Inc.)簽署了戰略諒解備忘錄(MoU)。它將向南韓市場提供SAR數據。至於像Space X(美國加州)、Rocket Lab(美國加州)、Planet(美國加州舊金山)、Black Sky Global(Spaceflight Industries的子公司，在美國維吉尼亞州)和Urthecast(加拿大)等公司發射的人造衛星數量不斷增加，推動了市場需求。(圖七)

由於其簡單的操作和準確的資訊，單波段的細分市場將在2019年佔據80%以上的市場比例。能夠截獲和分析多個頻率的先進感應器也將促進多波段發展，例如，被簡稱為「NISAR」的NASA-ISRO任務有望在2022年發射，它是一種能夠在L和S波段工作的多頻雷達^[註11]。而SAR在全球市場的發展，可以歸因於軍民用戶對微型雷達系統需求的增長，這些微型雷達系統支持國防部門的地面

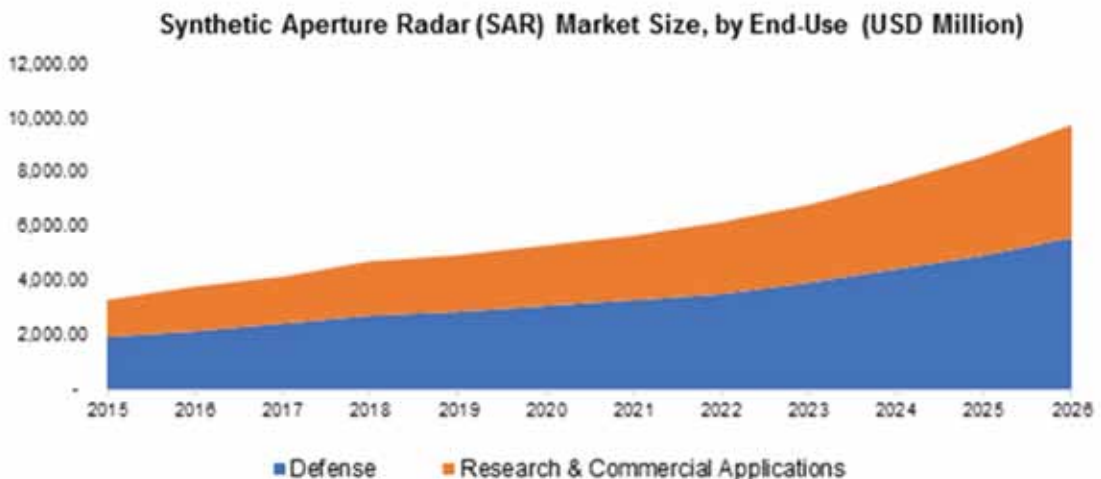


測繪和戰場監偵活動。

三、戰略合作以擴大市場佔有

合成孔徑雷達市場上的主要業者正在開展合作和合資企業，以擴大其市場的地理覆蓋範圍，並通過擴大其市場比例來創造新的利潤途徑。例如，在2019年11月，ICEYE與RS Metrics簽訂了一項協議，以向商品市場提供有關鐵礦石庫存的數據。RS Metrics展示了衛星影像和地理空間分析方面的專業知識，而ICEYE展示了在低地球軌道上的3顆小型SAR衛星組成的衛星群的數據蒐集能力。根據諒解備忘錄(MoU)，ICEYE將提供鐵礦石庫存的多角度SAR影像和分析，RS Metrics將為貿易商和行業分析師提供有關供應鏈中斷、區域和全球趨勢以及庫存的資訊。

美國SAR市場研究針對各主要參與廠商，分析了從2015年到2026年的美元收入估算和預測，SAR主要的廠商包括：洛克希德·馬丁、空中巴士(歐盟法



Source: www.gminsights.com

圖八 2015~2026合成孔徑雷達市場發展規模推估(以100萬美元計)

資料來源：Preeti Wadhvani, "Industry Trends", Aerospace and Defense, Global Market Insights, Jan. 2020, 檢索日期2020/4/22, <https://www.gminsights.com/pressrelease/synthetic-aperture-radar-sar-in-space-sector-market>。

註11 NASA-ISRO合成孔徑雷達任務是NASA和ISRO之間的一個合作項目，旨在共同開發並向地球觀測衛星發射雙頻合成孔徑雷達。該衛星將是第一顆使用雙頻的雷達影像衛星。它將用於遙感，以觀察和了解地球上的自然過程。例如，其朝右的儀器將研究南極冰凍圈。估計總成本為15億美元，NISAR可能成為世界上最昂貴的地球成像衛星。

NASA, "1.5 BILLION The World's Most Expensive Imaging Satellite NISAR", SAR Journal, 2017/5/26, 檢索日期2020/4/18, <http://syntheticapertureradar.com/nasa-isro-sar-project-nisar/>。



國)、L3哈里斯、諾斯洛普·格魯曼、雷神、達利斯集團(法國)、BAE Systems、紳寶(瑞典)、萊昂納多·S.p.A(義大利)和科巴姆Cobham Plc(英國)。這些企業主要關注產品開發和創新以佔領國防領域的市場。至於像ICEYE(芬蘭)、Urthcast(加拿大溫哥華)、Capella Space(美國加州舊金山)和Ursa Space Systems(美國紐約)之類的各種新興公司都致力於發展各種商業應用。各國政府單位和私人資本在SAR領域的大量投資，以支持新的衛星行業參與者，全力開拓市場競爭力。例如，在2019年11月，Ursa Space Systems在B輪融資中籌集了1500萬美元。根據美國「全球市場調查公司」(Global Market Insights Inc.)在2020年1月31日發表的一份最新研究報告分析，到2026年時，全世界合成孔徑雷達的市場規模將超過90億美元。(圖八)

肆、結語：高解析度影像將帶動合成孔徑雷達市場

由於合成孔徑雷達(SAR)在軍事用途的層面日益增加，復以美國聯邦政府已採取開放特定頻寬供應相對發展的衛星工業，因此，在全球衛星市場中，可預見越來越多採用產生優質3D圖像的下一代SAR衛星，根據前文推估之趨勢預估多頻寬波段的複合年增長率將超過目前的9%佔有率。各衛星廠商技術的進步和交付多頻寬SAR系統的長期合約方面不斷的增加投資，是支持市場增長的主要驅動力。例如2017年8月，Urthecast與一個未具名的客戶簽訂了一份合約，為其提供價值7800萬美元的雙頻系統，該公司將為衛星地面場站提供完整的運營、維護和售後服務。歐盟對於研究和商業用途的X波段需求不斷增長，由於其在地面繪圖和監偵活動中的軍事應用，預估不久的將來，歐洲SAR市場預計將以超過10%的複合年增長率發展。

包括英、法、義和俄羅斯在內的歐洲廠商正在拓展合約，以研製配備SAR系統的衛星，從而為整個合成孔徑雷達行業提供產業鏈的支持。升級機載的SAR系統以有效執行任務，這個佔有率已超越59%的市場比例，在預估期內也會呈現10%以上的複合年增長率。尤其廠商參與了機載性能加強版SAR系統的支持計畫，從而支持了市場的發展。例如，在2020年1月，美國空軍與諾斯洛普·格魯曼公司延長了現有合約，以支持E-8「聯合星」電偵機隊的有效部署。諾格還將提供全面系統支持承攬計畫，其中包括SAR系統和戰場管理系統，新系統將有助於執行廣域目標搜索任務並獲得即時的態勢感知能力。我國在未來國土資源與環境探勘等層面，甚至各種傳統安全與國防任務，SAR能量亦多可供運用之實際效益，可達成「低成本、高報酬」之國防投資項目，值得予以重視。



參考資料

一、參考書目：

1. Martin Kirscht, Carsten Rinke, 3D Reconstruction of Buildings and Vegetation from Synthetic Aperture Radar (SAR) Images. Maryland : MVA, 1998.
2. 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.
3. Kun-Shan Chen, Principles of Synthetic Aperture Radar Imaging, A system simulation approach. NW : CRC Press, 2016.
4. Jiaguo Lu, Design Technology of Synthetic Aperture Radar. NJ: IEEE Press, First Edition, 2019.

二、專業網路：

1. Aaron Mehta and Mike Gruss, "FCC to approve spectrum plan that Pentagon claims will harm GPS", C4ISR net, 2020/4/10,
<https://www.c4isrnet.com/breaking-news/2020/04/10/fcc-to-approve-spectrum-plan-that-pentagon-claims-will-harm-gps/>。
2. George Tsiboukis, "SPACE-BASED SAR FOR REMOTE SENSING", DCSS News, Engage with Plymouth University, 2018/6/14,
<http://blogs.plymouth.ac.uk/dcscs/2018/06/14/space-based-sar-for-remote-sensing/>。
3. Preeti Wadhvani, "Synthetic Aperture Radar Market Size By Frequency Band (Single-Frequency Band [X Band, C Band, L Band, K/Ku/Ka Band], Multi-Frequency Band), By Component (Receiver, Transmitter, Antenna), By Application (Spacecraft, Aircraft, UAV), By End-Use (Research & Commercial Applications [Public, Safety, Environmental Monitoring, Natural Exploration], Defense), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2020 - 2026", Global Market Insights, Inc., Jan. 2020,
<https://www.gminsights.com/industry-analysis/synthetic-aperture-radar-sar-in-space-sector-market>。
4. Preeti Wadhvani, "Synthetic Aperture Radar (SAR) Market Size worth \$9 Bn by 2026", Global Market Insights, Inc., 2020/1/31,
<https://www.gminsights.com/pressrelease/synthetic-aperture-radar-sar-in-space-sector-market>。

作者簡介

軍事刊物作者 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，現職:國際電子戰協會會員、軍事刊物編輯、作者。