

# 遙測影像的生產鏈

李芸珊、周士傑

透過 Google Earth 你會發現你可以輕易俯瞰地球，漫遊世界任一角落。然而，一幅幅的衛星影像到底是經過如何繁瑣複雜的程序才得以產生的呢？

人類史上第 1 張衛星遙測影像於 1959 年 8 月 14 日，由美國探險家衛星六號從 27,000 公里高的外太空傳回地球，由此開啟了遙感探測的新紀元。

我國的太空科技產業緣起於 1991 年 10 月，國家太空中心係經行政院核定所設立，做為我國太空計畫的執行機構。國家太空中心所擁有的福爾摩沙衛星二號（福衛二號）是我國第 1 顆自主擁有的高解析度遙測衛星，於 2004 年 5 月 21 日凌晨順利發射升空，歷經兩周的早期軌道操作與轉換，終於在 6 月 4 日把第 1 張遙測影像拍攝、下傳並處理成功，實現了我國探索太空的理想。

## 遙測是什麼

遙測又稱為遙感探測（remote sensing），其名詞源於 1960 年代的美國學者所提出，顧名思義是指在不與目標物直接接觸的情況下，透過特定的感測器量度並獲取該目標物的特性和資料，並加以分析與應用。

遙測與我們平常使用工具或儀器測量物體的方式不同，舉例來說，用直尺量測長度、使用體重計秤重量，直尺、體重計都必須和目標物直接接觸，才能獲得物體的長度、重量。

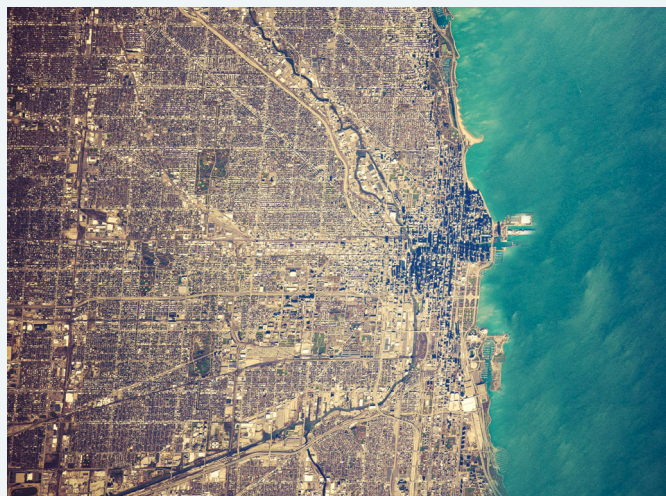
雖然遙測在概念上很玄，但遙測的使用早已不知不覺地融入我們的日常生活中。其實，當你在閱讀這段文字的同時，你也正在進行遙測！我們透過眼睛做為感測器看物體，從而捕捉到物體反射的光，再傳送至大腦分析處理與判斷，最終獲得與物體相關的訊息，這樣的過程便完成了視覺上的遙測。其他如聽覺、嗅覺等，也是人類與生俱來感官知覺中遙測的例子。

**福爾摩沙衛星二號是我國第 1 顆自主擁有的高解析度遙測衛星，實現了我國探索太空的理想。**

衛星遙測影像因具有綜觀、多時等特性，相當適合做為大範圍環境監測的工具，可有效掌握並管理我們賴以生存的家園—地球。

光其實就是一種人類眼睛可以看見的電磁波，遙測技術即運用電磁波反射的物理特性，才得以透過遙測感測器遠距獲取目標物的訊息。

就人造衛星的角度來說，遙測則專指從距離地表數百公里以上的高空，利用特定的感測器以地球表面為觀測目標，藉由電磁波獲取地球的自然環境、資源等資訊。這種從人造衛星上偵測地球所記錄下來的光學資訊大多是以影像的方式呈現，我們稱為遙測影像。衛星遙測影像因具有綜觀、多時等特性，相當適合做為大範圍環境監測的工具，可有效掌握並管理我們賴以生存的家園—地球。



從人造衛星上偵測地球所記錄下來的光學資訊大多以影像的方式呈現（圖片來源：種子發）

## 遙測衛星的優勢

相較於傳統航照，太空衛星遙測不受限於人，具有大範圍觀測、位置控制精確等優勢，且因衛星運行於軌道的特性，較能進行即時、穩定且重複的取像工作。對於大面積的天然災害或其他因地形地物阻隔而難以到達的地區，衛星遙測影像提供了強大的高空俯視能力，不僅能輕易執行廣域的環境變遷監測，更能即時掌握災害現況，支援現場勘災與應變。

由於每顆衛星有其特定的軌道高度和繞行路線，加上衛星有其視角範圍與記憶體容量，可取像的地區、時間與長度等的限制，為能有效運用衛星資源使取像任務的效率達到最佳化，必須建立一套標準的作業流程，包含取像後影像下傳所需的資料處理、影像產製與校正等複雜的程序，至最終完成遞交到使用者手中，整個過程堪稱一個遙測影像的生產鏈。

各國或各家衛星公司的處理方法和順序不盡相同，國家太空中心制定了一套符合福衛規範的遙測任務及影像處理流程，包括衛星取像任務的規劃、影像的接收與處理、影像產品的製作、影像品質的檢驗與維護等。

## 取像任務的規畫

遙測任務的取像規畫與排程在整個遙測任務中扮演著啟動者的角色。當有客戶或使用者向國家太空中心提出取像需求時，衛星任務規畫人員便開始依照任務需求的輕重緩急做等級上的區分，對欲取像區域進行可行性分析，包含考量衛星遙測影像儀與運行軌道的特性、衛星資源是否衝突、外在氣候條件等因素，以評估客戶所提出



藍色部分是福衛二號地面軌跡，紅色是取像地理位置。

取像規畫申請的成功率，並把該取像需求納入取像排程系統的每日任務分析之中。

以福衛二號為例，取像排程系統的核心就是一個強大的引擎，其主要功能是依據排程訂單中的目標區域位置及取像日期，計算取像操作參數，包含衛星姿態參數、拍攝時間等，並在地圖中進行軌道取像的模擬。由於福衛二號每日繞行地球 14 圈，排程引擎每日便須安排 14 個軌道的任務時線 (mission timeline) 傳送至任務控制中心，提供任務操控人員產生相應的指令序列以上傳至衛星，如此一來，衛星便能根據指令序列的時間執行事先安排好的取像規畫。

## 訊號接收與處理

衛星在針對每一目標地區取像後，衛星上遙測酬載的電子單元便會率先把收到的影像訊號做即時壓縮，整理成源格式 (source format)，並加上必要的輔助資料，包含取像時間、衛星軌道姿態等信息。為防止衛星資料在傳輸過程中遭竊取，接著便執行加密，再進行資料編碼與亂數排序



新竹國家太空中心的 X 頻段接收天線

的過程，隨即把資料暫存在衛星的記憶體—衛星固態記錄器 (solid state recorder) 上，直到衛星進入地面接收站 X 頻段天線的接收範圍後，才依照國際通訊協定 CCSDS 的規範進行資料的下鏈。

相對於影像資料在衛星上的處理程序，地面系統則是在接收到天線收集的原始資料 (raw data) 後以逆向操作程序處理，也

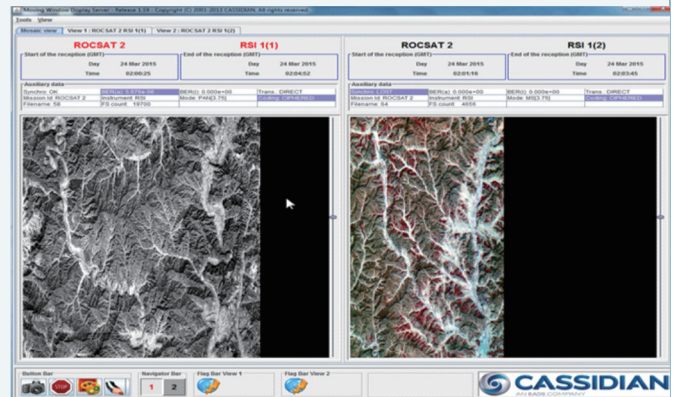
就是依序對訊號進行還原亂數資料、解碼、解密，再進一步執行源格式的重建與解壓縮，最後把解壓縮後所得的訊號以及所有後處理程序所需的輔助資料彙整，原始衛星影像就可初步以等級 0 (level 0) 的資料格式呈現，以供後續影像處理使用。同時，地面系統可利用移動視窗顯示 (moving window display) 同步輸出影像快覽圖，以利第一時間判斷拍攝任務是否成功。

## 影像產品的製成

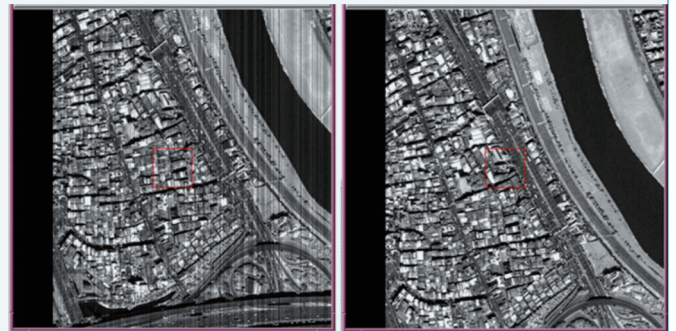
在接獲原始影像資料及其他系統輔助資訊後 (等級 0)，資料處理系統會依照使用者的需求再製作成相應的影像產品。依處理需求的不同，可區分為等級 1A 與等級 2 兩種標準產品；前者主要強調影像的輻射校正，後者則將系統的幾何校正運算包括在內。

隨著衛星升空後，無論是時間或空間環境造成的差異，都可能使遙測儀上各頻譜的感測元件產生不同程度的衰減及變化。這樣的衰減及變化會使遙測儀中各個頻譜感測元件的反應效能 (response performance) 產生差異，導致衛星影像在推掃取像方向上產生明顯的條帶 (stripes) 現象。因此，藉由完善的輻射校正作業，就遙測儀各個感測元件對光反應特性函數的差異進行補償，可有效消除條帶現象，使影像產品得以忠實反映地表反射特性的分布。經輻射校正後的影像，就稱為等級 1A 影像。

經過輻射校正處理後的影像已具備一定的品質，若利用一般影像處理軟體開啟，也可初步辨識出地表相貌。然而，此時的影像是依據衛星在取像的過程中，地表在遙測儀的像平面上所形成的影像，由於受到衛星位置、速度、姿態、地球曲率、地形、



當天線接收到來自衛星的訊號時，經過處理後就可同步輸出影像快覽圖，以供第一時間判斷拍攝任務是否成功。



左圖是未經輻射校正的影像，存在明顯的直紋條帶；右圖是輻射校正過後的結果，有效消除了條帶現象。

大氣折射，以及遙測儀器本身性能等的影響，造成感測的影像像素位置相對於地面目標實際位置發生擠壓、扭曲、伸展和偏移等現象。

為了克服這些誤差，我們建置適當的幾何轉換模式，並據此運用影像重新取樣方法以修正影像的幾何形變。經系統性幾何校正處理後，就可產生與地圖座標系統正確對應的校正影像，稱為等級 2 影像。以福衛二號為例，為確保遙測影像品質在幾何方面能保持穩定，福衛二號利用全球



正射影像能與地理資訊精確套疊，提供後續多方面的整合應用。

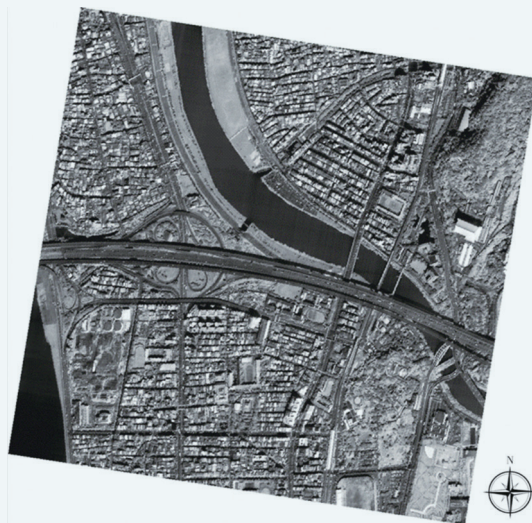
已知的 14 個蘊含多個地面控制點（ground control point）的場地，修正影像地物與實際地理座標間的誤差，並調整參數以補償系統誤差，使其保持在 450 公尺之內。

以上系統性的誤差通常具有可預測性，然而遙測影像中常存在有非系統性的誤差，通常與當地地貌特性及地形高低起伏有關，並且不具可預測性，需要倚靠所拍攝的當地現調資料輔助修正。

一般而言，若以現調所得的地面控制點輔助加工做較精密的幾何校正，我們稱為等級 3 影像。若更進一步利用地形高程資料（digital terrain model）消除影像中的高差位移，則稱為等級 4 影像，又稱為正射影像（ortho-image），可套疊於地圖上且與地表上的山脈、湖泊、道路對應，以提供影像產品與地理資訊整合應用的需求。

### 品質保證

影像成品在遞交至客戶手中前，尚須經過最後一道手續，以保證影像產品的品



經幾何校正後，影像像素座標便與地球實際座標系統一致。

質符合應有的標準與規範。國家太空中心制定了一套影像品質管制程序，包含檢驗影像範圍與資料格式是否與客戶需求相符、影像成品是否有掉線（loss line）或錯位（shift）的現象、色彩真實度的確認等，以確保所有遞交出去的成品達到最佳質量。

福衛五號憑藉著國人多項自主研發的關鍵技術，  
使我國在太空科技產業的發展上有所創新及突破。

此外，為確保遙測影像品質能夠長久維持穩定，國家太空中心在澎湖設有福爾摩沙衛星校正場，以黑白交錯的田字型圖案設計，定期利用衛星在任務軌道上所拍攝的影像資料計算調制傳遞函數（modulation transform function），以檢測影像的清晰與銳利度來確認衛星的健康狀況，並維護遙測影像的最佳品質。

## 以人為本

隨著科技的日新月異，生產遙測影像的各個步驟與環節雖然都已趨向電腦自動化，然而在一連串的处理程序中最重要的是「人」。

福衛二號升空迄今，國家太空中心在光學衛星的遙測資料處理上，已累積了一定的技術能量與操作經驗，其下的任務操作團隊除須維持整體流程的正常運作外，在任務決策、衛星訊號監控、成品檢驗、系統檢測與偵錯等的工作過程中，更扮演著不可或缺的關鍵角色。

由於衛星任務目標的具體實現取決於地面任務操作的成功與否，因此團隊的一舉一動都要經過嚴格的訓練並且驗證合格。福衛二號十多年來歷經了上百次的大小考驗，許多突發事件和緊急情況更是必須仰賴多年的危機處理及實務經驗，操作團隊常年秉持著以人為本的理念與認真負責的態度，為的就是確保福衛的使命必達。

奠基於福衛二號堅實的基礎與豐碩的成果，福衛五號憑藉著國人多項自主研發



國家太空中心於澎湖建置影像校正場，以檢測影像的清晰與銳利度來確認衛星的健康狀況。

的關鍵技術上太空，將使我國在太空科技產業的發展上有所創新及突破。未來福衛五號也將接續服務福衛二號的使用者族群，以傳承探索太空的理想與經驗，帶領我國太空科技邁向新里程！

李芸珊、周士傑  
國家實驗研究院國家太空中心