



發射後的挑戰— 影像處理與調校



福衛五號系統經過多年的研製，如今已到最後階段，目前衛星系統正在太空中心做運送前的測試，預計今（2016）年年中運到美國與發射載具完成整合測試後，便可以準備發射，負責衛星操作與維護的地面系統已經完成備便，正在進行操作人員任務模擬訓練，而擔任福衛五號衛星營運的影像處理系統，正在做最後發射前影像輻射與幾何參數的細算及其他精進工作。

作者／黃楓台

1991年畢業於國立清華大學數學系，而後分別於1996年與2000年獲得美國明尼蘇達工業與應用數學碩士以及俄亥俄州立大學工程力學博士。目前任職於國家太空中心，負責遙測衛星排程系統開發與衛星任務設計與分析工作。

衛星發射後進入任務軌道，太空中心衛星工程師隨即開始對衛星各個次系統進行功能檢查，當完成所有必要檢查後，便輪到影像工程師開始對遙測影像儀進行規格驗證以及輻射與幾何參數計算。由於衛星必須承受火箭發射過程所帶來強烈的震動，以及入軌後嚴苛的太空環境，遙測影像儀的結構與感測器與其在地面時所量測到的特性，都會產生些微的變化，這些變化將會影響到衛星影像的品質，因此遙測衛星發射後的調校階段是衛星影像正式銷售營運前重要階段。一般而言，一顆遙測衛星的調校階段會長達3個月甚至到半年皆有可能。

在美國內華達州阿卡利(Alkali)沙漠的衛星發射前現地輻射量測。(國家太空中心/國立中央大學)



福衛五號衛星與發射

福衛五號計畫是我國第一顆自主發展遙測衛星，此一計畫除了要延續 2004 年發射的福衛二號遙測任務，繼續提供國內外使用者所需的衛星影像資料外，另外一個重要的目標，便是要建立臺灣衛星本體與遙測酬載自主發展的能力與經驗。福衛五號預計 2016 年第三季發射，將搭載一個黑白 2 米與彩色 4 米解析度的遙測影像儀與一個先進電離層探測儀，發射後預計在具有兩天再訪特性 720 公里高的太陽同步軌道上運行。福衛五號因為軌道的特性，搭配本身可以在飛行方向左右各轉動 45 度角，所以福衛五號具有全球影像涵蓋的能力。

福衛五號衛星將由獵鷹九號（Falcon9）火箭於美國西岸范登堡空軍基地發射升空，火箭離地後約 12 分鐘後，衛星與火箭分離進入軌道，衛星隨即進入早期軌道操作階段（Early Orbit Operation Phase），此一階段位於太空中心的地面操作團隊會透過地面站天線與衛星接觸，除了將太陽能板展開外，也要檢查衛星各個次系統的功能是否正常運作，當確認所有次系統功能皆可以正常工作後，衛星隨即開始進入衛星遙測影像儀性能驗證與調校階段（Commissioning Phase）。

福衛五號影像處理系統與操作

福衛五號影像處理系統與福衛二號的影像處理系統相似，共包含五個次系統，分別是排程規劃次系統（Planning & Scheduling Sub-system, PSS）、資料擷取次系統（Data Ingestion Sub-system, DIS）、資料管理次系統（Data Management Sub-system, DMS）、資料處理次系統（Data Processing Sub-system, DPS）與影像品質次系統（Image Quality Sub-system, IQS），這其中排程規劃次系統與影像品質次系統是屬於比較獨立運作的次系

統。太空中心操作人員利用排程規劃次系統所提供的操作介面，選擇福衛五號每一圈軌道要拍攝的區域，排程規劃次系統便可以在滿足各項限制條件下自動計算出衛星取像的時刻與姿態，以及不同取像姿態間轉換所需的時間，最後產生出任務時線報告（Mission Timeline Report）送到衛星控制中心，衛星控制中心的系統將其轉換成為衛星指令，透過天線上傳到衛星，衛星便會按照我們事前所規劃的時刻與姿態開始取像，並將影像資料儲存在衛星的固態儲存器內，當衛星通過地面接收站時，再將影像資料下傳到地面。

衛星影像資料透過 X 頻段天線接收傳輸到資料擷取次系統，影像原始資料經由資料擷取次系統處理成第零階影像（Level 0）後，操作人員便可以利用資料管理次系統的介面，選取想要的區域下產品訂單，資料管理次系統驅動資料處理次系統進行運算，最後產生出經過輻射校正的第一階影像（Level 1A）或是經過輻射與幾何校正的第二階影像（Level 2）。

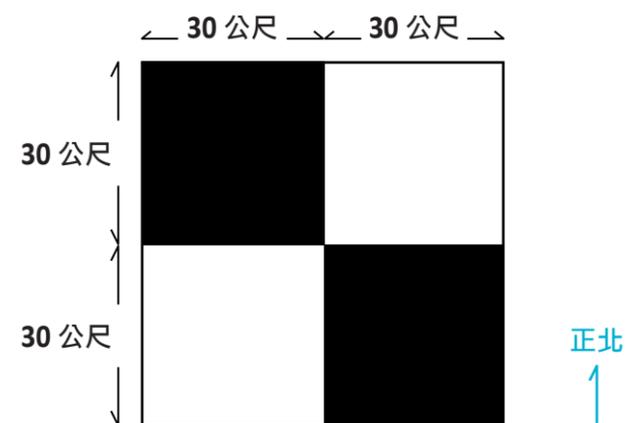
在影像品質次系統方面，與上述幾個次系統不太一樣，它可以說是數個演算法、程序或是程式所組成，影像品質工程師主要工作是利用影像品質次系統中的程序與程式定期監控衛星影像的品質，包括（1）追蹤影像調制轉換函數（Modular Transfer Function, MTF）值的變化，以及（2）更新產生影像處理次系統所需要，包含輻射與幾何參數的校準參數檔案（Calibration Parameter File, CPF）。

福衛五號調校階段工作

福衛五號調校階段首要任務有兩個，一是遙測影像儀規格的驗證，二是遙測影像儀性能的調校，由於在這

個階段衛星已在天上繞地球運行，因此不論是遙測影像儀的規格驗證或是性能調校，都必須利用衛星獲取地面影像並下傳到太空中心來進行，影像品質工程師透過福衛五號影像可以檢查衛星上遙測影像儀的規格與性能。

在衛星遙測影像儀規格驗證部分，我們要檢查的是衛星影像地面解析度（GSD）與調制轉換函數，地面解析度是遙測衛星一個最重要的性能指標，而調變轉換函數則是量測影像銳利度的一個重要的參考數值。對於地面解析度的確認，我們令衛星在星下點（人造衛星在地面的投影點）附近對一個明顯且足夠長而直的人造地標（如：公路、橋等）取像，若是已知此一地標的長度，另外計算影像中該地標的像元（pixel）數，將地標的長度除以像元數，便可以估算遙測影像儀的地面解析度。而對於調制轉換函數的計算，太空中心在澎湖南邊建置一個校正場，該校正場是一個 60 公尺 × 60 公尺黑白的田字型圖案，如圖所示。衛星對該區域取像後，我們可以擷取當中含有這一田字型影像，利用影像處理技術與演算法，便可以計算出福衛五號調制轉換函數的值。



在衛星遙測影像儀性能調校部分，我們要更新發射前在地面量測輻射與幾何參數的值。首先是輻射校正，由於遙測影像儀內感測器的每一個像元，對於由地面反射光的反應不同，我們必須調整每一個像元的輻射參數，以消除大氣輻射效應與感測器像元間的差異，使得衛星影像在視覺上看起來一致。為了更新校準參數檔案有關於輻射校正的值，首先要量測每一個像元的暗電流（dark current），我們可以選取均勻的區域，例如：在無月（農曆初一左右）的夜間進行海洋取像，所獲得的影像可以計算每一像元對於全黑影像的灰階值偏移（offset），除此之外，也要透過拍攝以及現地量測具有均勻反射特性的地表信號來獲得輻射參數值。一般而言，我們會選擇沙漠地區的影像作為計算遙測影像儀輻射參數的來源。最後是幾何參數的更新，我們會針對太空中心所擁有的臺灣地面控制點以及全球 14 個地面控制點區域取像，搭配控制點資訊來進行福衛五號幾何校正。

結論

遙測衛星發射後的調校階段是衛星影像正式銷售或分送前的一個重要階段，也是衛星營運者一項主要工作。早期臺灣衛星影像是向國外衛星影像公司購買，所以沒有遙測衛星調校的實務經驗，太空中心藉由福衛二號計畫，透過衛星承包商的技術指導與國內學術界的合作，掌握了遙測衛星調校的關鍵技術，這些技術也將應用在福衛五號的調校工作。福衛五號的衛星地面測試即將告一段落準備發射，而衛星發射後的調校工作，則是另一個挑戰的開始。