

# 通訊次系統簡介

## Introduction to the Communication Sub-systems

譚怡陽

I-Young Tarn

福爾摩沙衛星五號有兩個通訊次系統，兩個次系統的使命和運作方式不盡相同：一個屬於衛星本體的 TTC (Telemetry and Telecommand) 次系統，負責衛星和地面的雙向通聯，接收從地面天線發送的控制指令，也將衛星的本身各項數據資料和「先進電離層探測儀」科學酬載資料下傳至地面。另一個是 XDS (X-band Downlink System) 次系統，負責將「光學遙測酬載」的資料下傳到地面由 X-band 天線系統接收。以下將簡介這兩個通訊次系統。

This article describes the two communications sub-systems on the Formosat-5 satellite, namely the Telemetry and Telecommand (TTC) sub-system and the X-band Downlink System (XDS) sub-system. They have dissimilar goals and operations scenarios. TTC sub-system, a part of spacecraft bus, is in charge of the bilateral communications between the satellite and the S-band TTC ground stations. TTC receives the commands sent by the antenna on ground, and delivers the state of health data of the satellite together with data of Advanced Ionospheric Probe (AIP) payload to the ground antenna. On the other hand, XDS sub-system downloads the compressed and encoded Remote Sensing Instrument (RSI) payload data (image data) to the X-band receiving antenna system on ground.

### 一、TTC 次系統

TTC (Telemetry and Telecommand) 次系統是和衛星維持聯繫的唯一方式，所以必須設計得非常可靠才能持續控制衛星和瞭解衛星的狀況。基本需求是在地面天線仰角 10 度以上時，85% 以上的衛星姿態角度都能和地面有足夠的通訊鏈路餘裕，也就是即使在早期軌道階段或在其他衛星姿態不穩定時，也必須和衛星有極大通訊機率。

上鏈使用頻率 2039.645833 MHz，傳輸位元率

4 kbps，BPSK/PM 調變，因為傳送的是控制衛星的指令，位元錯誤率需求小於  $10^{-7}$ 。下鏈使用頻率 2215.000000 MHz，傳輸位元率 16 Mbps，BPSK 調變，資料經過 Reed Solomon (255,223) 前向錯誤更正的通道編碼，位元錯誤率需求小於  $10^{-6}$ 。

核心元件稱作 RFEA，是由兩個 Transmitter、兩個 Receiver 和其他傳輸用的被動元件組成，兩個 Transmitter 和兩個 Receiver 都是為了互相備援，以增加系統可靠度。兩個 Receiver 都設定在運作狀態，Transmitter 則同時間只會選擇其中一個

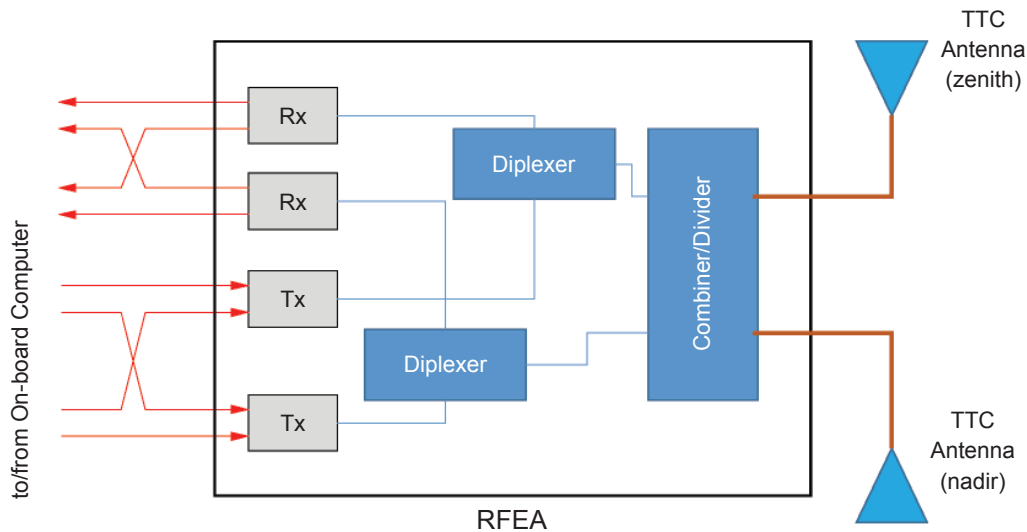


圖 1. TTC 次系統架構。

運作。Transmitter 的信號均分到兩支天線發送出去，兩支天線也會將接收的信號傳給 Receiver，發射和接收的信號頻率不同，藉由 Diplexer 分開。

TTC 次系統天線選用 S-band 右手圓極化 (RHCP) 的 Quadrifilar Helix Antenna，這種天線在衛星正常狀況下，讓衛星處於地面天線低仰角位置時有較高的天線增益，彌補距離較遠造成的損耗，高仰角時距離較近，增益的需求也較小。系統完成後計算分析，此種配置有超過 97% 的涵蓋範圍能提供 3 dB 以上的通訊餘裕，超過 93% 的涵蓋範圍能提供 6 dB 以上的通訊餘裕，滿足衛星任務需求。

## 二、XDS 次系統

XDS (X-band Downlink System) 次系統，顧名思義使用的是 X 頻段，在 ITU 規範的範圍內，協調訂出 8190 MHz 作為發射頻率。和 TTC 次系統相比，除了頻段不同之外，XDS 只用來下傳，操作的時機是在衛星正常運行並取像的情況下，「光學遙測酬載」的資料經壓縮和編碼後，由 XDS 發送。

既然只在姿態正常的情況下操作，XDS 次系統就不用像 TTC 次系統涵蓋那麼大的範圍，其需求訂為：衛星相對於地面接收天線最高仰角大於

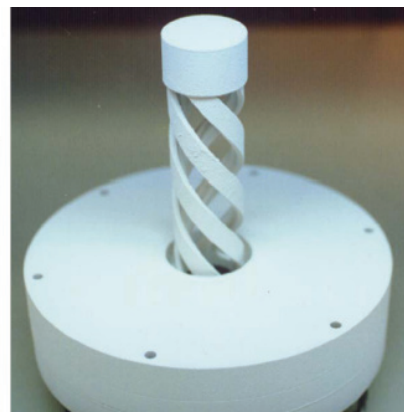


圖 2. RFEA 和 TTC Antenna。

30 度以上的 Pass 才會用來下傳資料，該 Pass 在仰角 20 度以上、衛星相對於 Nadir 在 Roll 方向的轉動在 +35 度 (+ 代表地面天線方向) 以內，都必須有 6 dB 以上的通訊欲度。

傳輸位元率 150 Mbps，較福爾摩沙衛星二號為高，使用 Reed Solomon (255,223) 前向錯誤更正的通道編碼的 DeQPSK 調變，目標是位於國家太空中心頂樓的 X-band Antenna System (仰角 11.5 度時的 G/T 是 31.8 dB/K)，位元錯誤率需求小於  $10^{-6}$ 。

此次系統由兩個 Transmitter 和其他傳輸用的被動元件組成，兩個 Transmitter 功能完全相同，可做為備援，並搭配兩個成一組的波導 Switch，也是為了互相備援，以增加系統可靠度。次系統中同樣有兩個相同的天線，天線指向性較 S-band TTC 天線的指向性為高，因不用涵蓋那麼大的範圍，且增益需求較大。Transmitter 同時間只會選擇其中一個運作，兩個天線指向角度不同，藉由 Switch 組合選擇信號路徑到不同的天線，衛星接近地面站時使用前視天線，衛星遠離地面站時使用後視天線，切換時的通訊餘裕可以連續滿足 6 dB 通訊餘裕，以增加通訊時間。

尋訪並瞭解 Transmitter 廠商並調查規格後，首先設定 Transmitter 輸出端最低的功率需求為 20 瓦，再根據系統架構，估計信號線損耗，以及傳輸過程的各種損耗，像是：Propagation Loss、Atmospheric Losses、Rain Loss、Polarization Loss、Pointing Loss 等，再考慮地面接收系統的損耗和不同仰角時的 G/T，計算天線相對於衛星本體的最佳張角和該張角的天線場型需求。

XDS 使用右手圓極化電磁波傳遞信號，一個良好的圓形極化天線，其通常擁有軸對稱的天線幾何形狀，且天線場型通常也是軸對稱，才會有比較好的 Axial Ratio。另外，為了簡化衛星構型的複雜度及衛星操作時的方便，假設兩支天線一向前一向後，對稱張開同樣的角度 ( $\tau$ )。將以上幾個條件都當作前提，再加上前述 XDS 的任務需求和其他系統參數，來分析天線張角 ( $\tau$ ) 和對應的天線場型兩項需求， $\tau$  從 0 度到 70 度的計算結果示於下圖。

根據場型的增益需求和軸對稱天線的設想，推論最有可能採用喇叭天線，而喇叭天線的場型若在軸向的角度增益較高、離軸較遠處增益較低，比較容易實現。此外，天線張角除了必須滿足指定操作

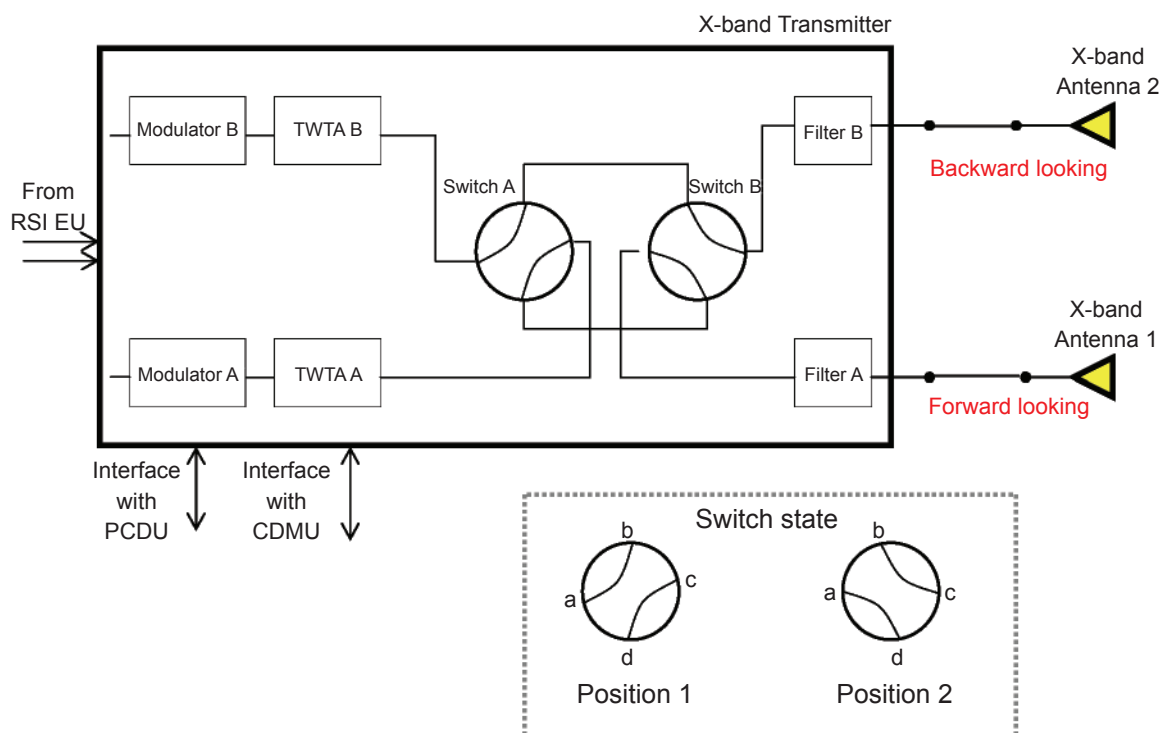


圖 3. XDS 次系統架構。

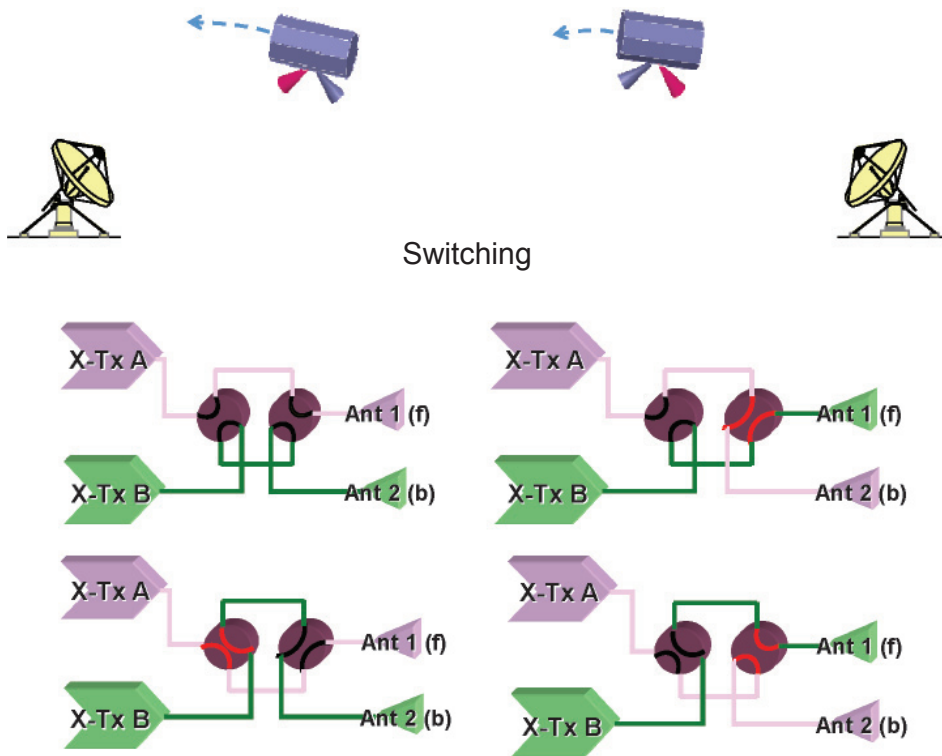


圖 4. XDS 操作及路徑切換。

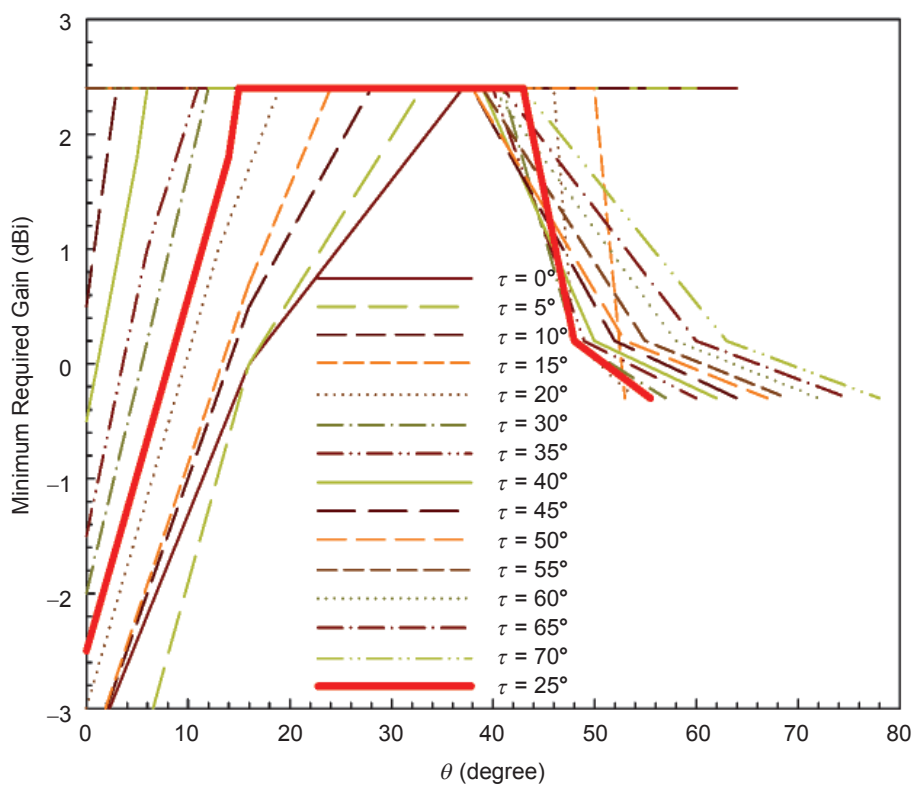


圖 5. 天線張角和對應的天線場型。

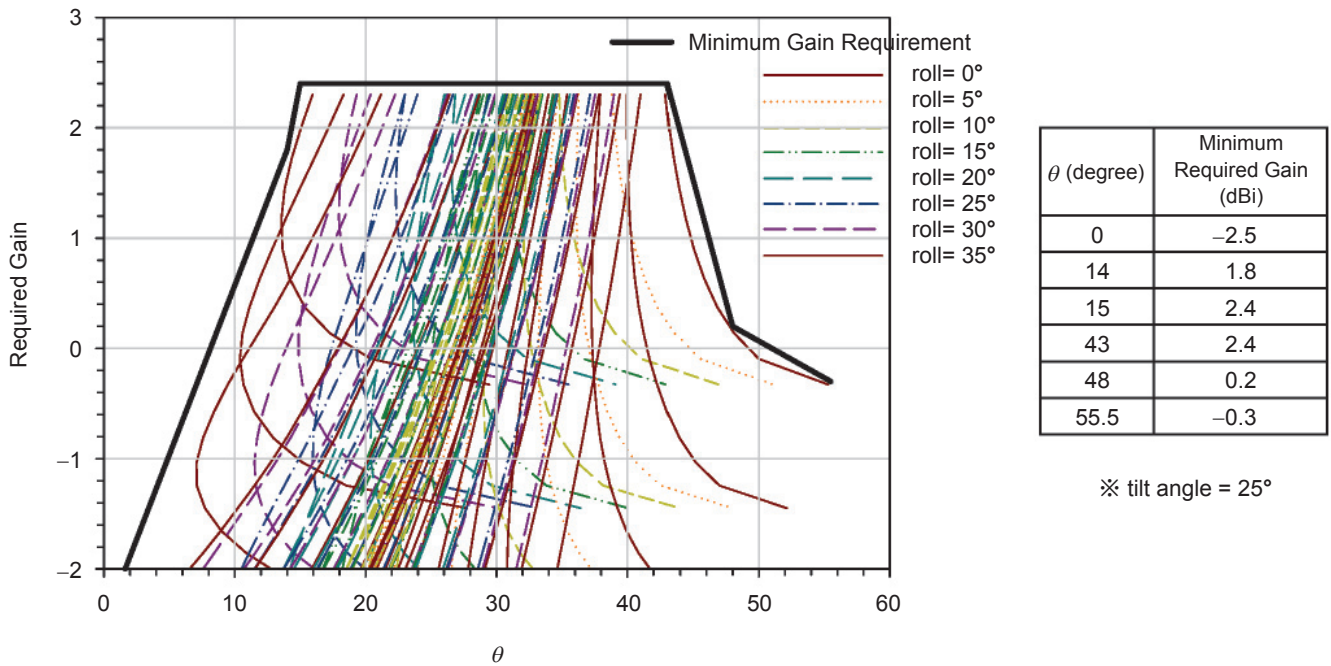


圖 6. X-band Antenna 需求。

範圍內的通訊餘裕，同時考慮到張角大時，天線電磁波的能量容易和衛星本體結構互相影響，改變天線場型。張角大也不利於衛星若有 Pitch 方向偏轉時的動作。因此選定  $\tau = 25$  度，將場型增益需求對張角積分，得到的結果很接近 1 但未超過 1，需求在物理意義上是合理的，再以此需求和天線廠商磋商討論，確認用圓形開口的喇叭天線可以實現。

與此同時，Transmitter 的各項實測數據也已經逐漸得知。除了測試 Transmitter 本身，更執行所謂 Image Chain Test，將 EU 和 Transmitter 組合，由 EU 產生酬載資料，經由 Transmitter，之後串聯衰減器等值模擬衛星和地面天線增益和通道中所有損耗效應。送出多個大小都是 2 Gb 的 MS 或 PAN 酬載資料，接收端驗證到都是完全沒有錯誤位元。

然後把廠商設計、製作並實測後天線場型和 XDS 其他系統參數一併代回通訊鏈路分析，發現在定義的衛星軌道、姿態及地面天線仰角等操作範圍內，XDS 都可以在位元錯誤率  $10^{-6}$  的情況下達到大於 6 dB 的通訊餘裕，證明整個系統在設計上是沒問題的。

XDS 整合後直到發射前執行過多次 Compre-

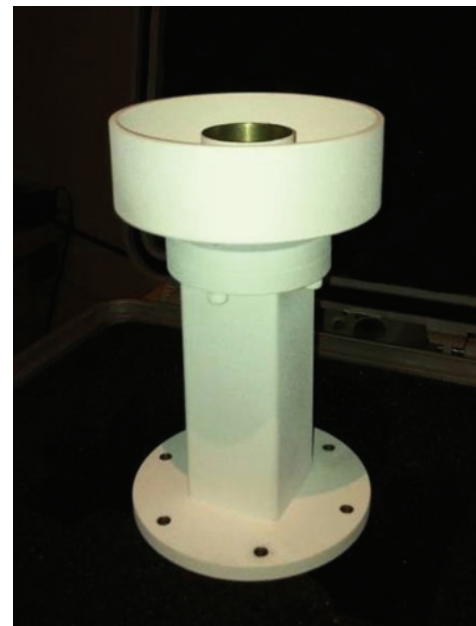


圖 7. X-band Antenna。

hensive Performance Test，測試結果都正常。實際上發射後運作至今，從地面系統收集到的資料，也證實 XDS 各項效能都滿足需求。

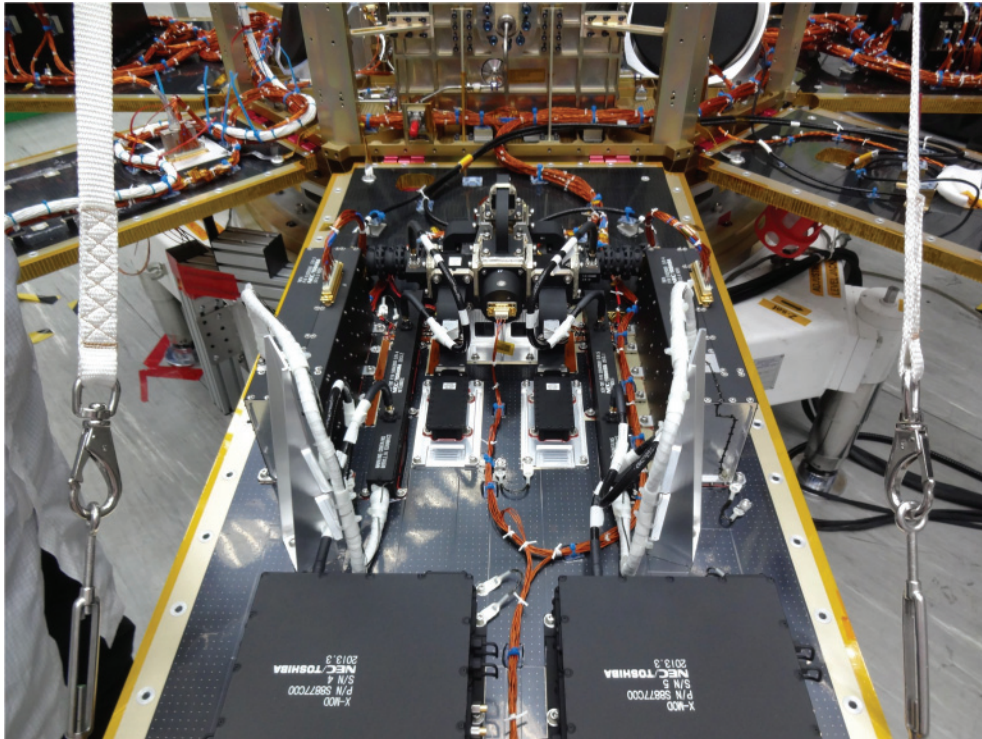


圖 8. X-band Transmitter。

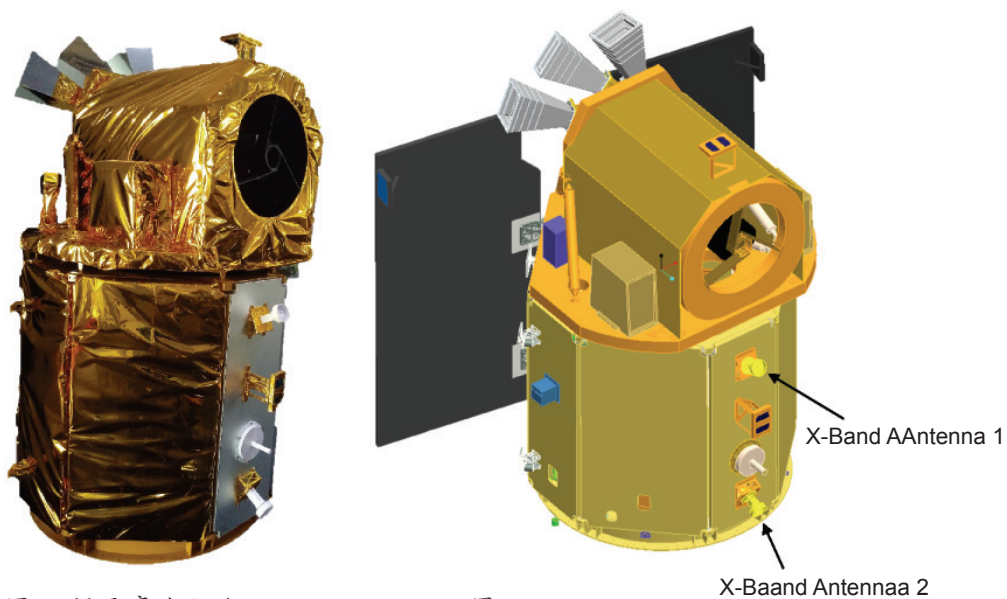


圖 9. 福爾摩沙上的 X-band Antenna 配置。



譚怡陽為國立交通大學電信工程博士，現為國家實驗研究院國家太空中心衛星通訊工程師。

I-Young Tarn received his Ph.D. in communications engineering from

National Chiao Tung University. He is currently a satellite communications engineer at National Space Organization, NARLabs.