

# SAR雷達發展架構與分析研究

## 作者簡介



郝立仁少校，中正理工82年班、美國喬治華盛頓大學碩士、國防大學管理學院指參98年班、空軍航空技術學院100年教官班、國立成功大學醫學資訊工程所博士生；曾任電戰參謀官、資訊作業督導官、教官，現任職於空軍官校飛行指揮部維護官。

## 提要

- 一、SAR雷達走向係依循國家軍力多寡而定，考量太空科技已步入常軌及形成各國科技發展重點。面對未來SAR衛星雷達技術發展，也必然在世界高性能戰機、船艦及衛星載臺上發揮重大之影響。
- 二、現今各國交替研製無人機，研究者藉文獻探討SAR雷達之原理與運用，並針對中共SAR雷達之發展進程，以進行戰力分析。
- 三、強化我軍民通用技術之突破，係增加對SAR雷達技術之深度與廣度認識；未來國家政經軍心四大國力為求有效發揮並進軍世界舞臺，SAR雷達關鍵技術之研發確實扮演不可漠視之地位價值。
- 四、未來軍方除應秉持平時即戰時與超敵勝敵之信念外，並依戰場變化適時提供指揮官建議，以利指揮官命令下達，期發揮作戰優勢與裝備運用效能，確保戰力之有效發揮。

關鍵詞：太空科技、SAR雷達之原理、無人機



## 前言

SAR雷達訊號傳輸所使用的頻段屬波長較大之類型，具較佳雲霧穿透力、適用於日夜間之偵測及任何天候進行資訊截取，且可實施全天候與大面積偵照等優點。傳統光學衛星的成像卻不能排除天候因素與雲霧覆蓋影響，受制於上述因素，於災害偵測時無法及時性告知，影響深遠。<sup>1</sup>

針對近期中共進行長期軌道驗證及系統整合，未來勢必具備提供全球衛星導航服務之基本條件。中共研製先進衛星偵察設備「逆合成孔徑雷達」，此雷達具二維極佳辨識率(0.5m×0.5m)，這型雷達針對戰機、船艦、衛星、彈體及太空星體可獲取具體影像，藉由微波攝影所得之圖資，描繪出其代表之幾何圖形、長短大小、特殊造型，據以分門別類而予以辨識。<sup>2</sup>現今各國交相研製無人機技術，藉文獻探討SAR雷達相關技術，推估未來各國朝向SAR雷達技術發展之可能性，並針對雷達性能演進進行特、弱點分析，期帶來更多學理技術之研究與發展。

中共不僅在全球所有衛星導航系統中獨樹一格，也為下一階段衛星導航系統奠定堅實基礎，同時也在現階段軍事作戰中深具重要戰略意涵。<sup>3</sup>分析中共國防武力步入太空化的實際作業進程，且具備航母

作戰之態勢，未來兩岸若引發衝突，唯有超前部署SAR雷達無人機、艦、無人載具及衛星，以行跨區增援，方具實質作戰效益，期望發展SAR雷達技術對我國防政策在未來作戰想定規劃能有所助益。

## SAR雷達原理與運用<sup>4</sup>

### 一、SAR雷達原理

SAR雷達原理如同大部分雷達，其機載SAR雷達之距離需靠精確量測雷達脈波從發射到接收目標回波之時間而定。距離解析度由脈波寬(Pulse Width, PW)決定，窄脈波可產生最佳距離解析度。方位(Azimuth)解析度與雷達波束寬(Beam Width)成正比。低頻成像雷達需要較大天線(或稱為孔徑Aperture)，以產生精緻影像。波束寬與天線尺寸大小成反比，SAR雷達能累積目標信號回波，效果達數公里之遠。而SAR雷達影像系統限制是無法達到視覺與光學相機所能分辨之程度。

SAR雷達波長可穿透雲霧及塵埃，同時SAR雷達載具在平飛航線上會產生偏斜移動造成影像模糊，須透過相關技術來恢復影像品質，如使用慣性導航及自動對焦，藉由調焦可有效改正。其影像是由像元構成，亮度受雷達波照射區域內目標物所回傳能量而定，用分貝(dB)作為量測單位。典型地表有標準化雷達反射截面積

1 洪浩倫等人，〈星載SAR應用需求報告〉(桃園：國立中央大學通訊系統研究中心，民國98年)，頁7。

2 〈中國航天地面雷達設備新品——逆合成孔徑雷達〉《太空探索》，第2期，民國86年2月，頁21，<http://wuxizazhi.cnki.net/Article/TKTS199702017.html>，民國101年7月19日下載。

3 〈北斗導航衛星系統架構分析與研究專題〉(高雄：空軍航空技術學院，民國98年10月)，頁1。

4 〈合成孔徑雷達的工作原理〉，<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1005021700333>，民國101年7月19日下載。

(Radar Cross Section, RCS)，最明亮為(+5分貝)而最黑部分為(-40分貝)。一般而言，機場跑道、高速公路或靜止水面等平坦表面，通常呈現黑色，而粗糙地面受到各方向均勻反射能量，使雷達天線收到較強回波，呈現明亮顏色。農地植物則因莖高度、葉寬度及排列差異，在影像紋理及色調上可區分不同植物類別之界線。林木區由於樹頂、枝幹葉面屬隨機多路徑散射，呈現不規則的亮、暗點。地形起伏山區因為受到壓縮與延伸(Foreshortening and Layout Effect)及雷達陰影效應影響，呈現誇大或縮小現象。物體表面粗糙度與雷達波長相關，如L波段(15到30公分長)雷達波則不易被散射。

在各型載機天線端，在不同方位進行雷達信號發射與接收，並將目標回波信號予以記錄儲存。不同方位間係透過天線端同時發射及接收雷達波，以建構隨載機運動軌跡之大型陣列天線，具窄波束特性，而雷達發射之脈波來復頻(Pulse Repetition Frequency, PRF)若夠大，即可產生首尾相接之天線單元，據以合成所謂大孔徑天線。<sup>5</sup>

針對機載雷達於空中、地面及海面上所呈現之目標物，在機載雷達掃描週期裡，目標與雷達間之距離變化關係近似二元

多項式。與目標對應之橫向回波屬線性調頻回波信號，且其斜率值係透過機載雷達發射源所產生雷達波之波長、目標與機載雷達間距及當時之飛行載臺之速度而決定。針對線性調頻回波信號所執行之匹配濾波、脈波壓縮，即可得出較真實天線波束窄之方位辨識。在SAR雷達之信號處理包括橫向壓縮及縱向壓縮。<sup>6</sup>橫向壓縮(Anamorphic)可使壓縮圖像回復至原有的解析度及大小，一般DVD播放器內此項功能，促使橫向壓縮動畫在播放時產生與電視銀幕一樣大小畫面。<sup>7</sup>縱向解析基本上是藉由脈波壓縮(Pulse Compression)的信號處理方式，將目標物在縱向方面的特性進行解析，以滿足辨識目標之目的，而效能則受到目標之性質、排列方式、頻寬、波型、脈波長度等因素之影響。<sup>8</sup>船舶辨識係依照船舶本身與背景亮度隨雷達波入射角差異而定，如內側亮、外側暗或目標物呈現高於背景之高亮度等特性。船舶影像則以航線影像之亮度變化及數學統計特性作為研判準據，依SAR雷達影像目標，使用影像相關辨識技術予以定量分析，顯示針對影像亮度處理與船舶目標之辨識程式(如圖一)，且已獲得各界廣泛運用。

## 二、SAR雷達運用<sup>9</sup>

針對軍事用途而言，裝甲車輛因SAR

5 涂志華，〈超音波角頻譜合成孔徑成像原理之研究〉，國立交通大學碩士論文，民國86年，頁1。

6 〈橫向壓縮闊銀幕(Anamorphic widescreen)、全畫面(Full Screen)及不可變銀幕(Letter-box)〉，[http://www.yesasia.com/global/customer-support/%E7%94%A2%E5%93%81%E5%B8%B8%E8%A6%8B%E5%95%8F%E9%A1%8C/0-0-0-hti.973-zh\\_TW/question-answer.html](http://www.yesasia.com/global/customer-support/%E7%94%A2%E5%93%81%E5%B8%B8%E8%A6%8B%E5%95%8F%E9%A1%8C/0-0-0-hti.973-zh_TW/question-answer.html)，民國101年7月19日下載。

7 張子軒，〈合成孔徑聲納系統之研究——縱向解析度分析〉，碩士論文，民國100年7月29日。

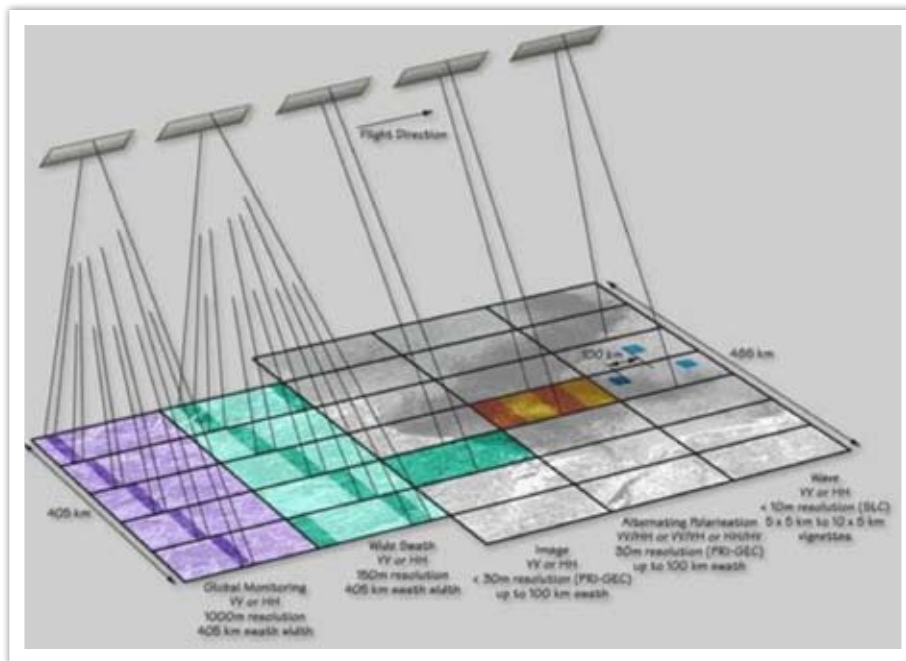
8 同註4。

9 方冠又，〈雷達衛星影像之軍事運用——以商用雷達衛星影像為例〉，101年國軍電子戰參謀正規班專題研究，民國101年6月，頁7。





圖一 船舶目標辨識示意圖



資料來源：張逸中，〈SAR衛星影像之船舶辨識簡報〉，致遠管理學院，民國96年5月16日。

不同極化特性造成很多散射，可利用特定極化特徵予以目標辨識及區分。新式戰機射控雷達已具SAR影像能力，本軍幻象2000型戰機RDY雷達，已具寬帶模式(解析度1到2公尺間)及點狀模式(解析度低於1公尺)顯像能力。

UAV無人載具之SAR系統屬戰術持續合成孔徑雷達，經由中高空UAV所掛載，其他或更大型如MAE無人空中載具亦可選用。「全球之鷹」無人載具已採用SAR之監視與偵察整合系統。美國國防高等研究計畫局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)對目標情報偵察，採用包括SAR、EO相機、超頻譜UAV及具有穿透樹葉遮蔽能力之UAV，以偵

測及區分樹林下偽裝目標。DARPA「戰術雷達計畫」正發展解析度低至1公尺且具有高資料接收率，能同時獲得SAR影像及高解析度地面MTI雷達資料之衛載雷達。該系統係以24顆低軌道衛星所構成，以強化美國預警和支援軍事演習等情報偵蒐潛力。

SAR雷達技術普遍應用於醫療院所之民眾健檢。一般在醫用超音波掃描成像應用或在數值計算均採快速傅立葉轉換之標準演算法，並可針對時間與空間座標進行互換。傳統上使用時域合成孔徑成像技術，而現今已改採頻譜合成孔徑運用原理，相信未來必將建構成數位式醫用超音波掃描系統。<sup>10</sup>此外，由於SAR雷達屬較佳辨

10 同註5。

識率之雷達構型，採用都卜勒頻移理論，而各國為滿足自身軍事發展瞬間解析敵威脅目標之基本訴求，已紛紛挹注大量資金以進行軍事科技之研發。

## SAR衛星應用層面及系統發展研革

### 一、SAR衛星應用層面<sup>11</sup>

SAR衛星具備全天候影像拍攝能力，依所欲觀察目標特性採用不同頻率。針對地下掩體武器裝備觀測以日本J-ERS-1、美國Seasat為主；針對水下潛艦探測則以歐盟Envisat、加拿大Radarsat-2為主；另對地面活動之甲車則以德國TerraSAR為主。

針對橋樑、建築物等大型物體，美軍SAR衛星已可辨識，惟車輛或移動式武器系統辨識度仍待克服，雖可確定有目標，尚無法有效判定目標是什麼東西。在沙漠作戰中，針對敵人物資均可有效識別，惟在森林內就需要運用另類SAR雷達(如FOPEN SAR感測器)予以辨識。故在實際作戰運用中，考量敵可能運用之地形優勢，選擇適切SAR衛星，以滿足作戰實需，乃為考驗熟悉戰況之決策者智慧。

### 二、SAR衛星系統發展沿革

目前世界各國SAR衛星系統發展沿革，概述如表一。

## 中共SAR雷達能力研析

中共自1970年也從事SAR雷達(即微波遙測)領域方面之研究，除引進兩型高空噴射機從事雷達影像之攝取及分析作業

表一 世界各國SAR衛星系統發展沿革

| SAR衛星系列      | 研發機構(國家) | 發射年度  |
|--------------|----------|-------|
| Seasat       | 美國太空總署   | 1978年 |
| ALMAZ        | 前蘇聯      | 1991年 |
| ERS-1        | 歐洲太空總署   | 1991年 |
| J-ERS-1      | 日本       | 1992年 |
| ERS-2        | 歐洲太空總署   | 1995年 |
| Radarsat     | 加拿大      | 1995年 |
| Envisat      | 歐洲太空總署   | 2002年 |
| Alos/Palsar  | 日本       | 2006年 |
| Sar Lupe     | 德國       | 2006年 |
| 尖兵5號         | 中共       | 2006年 |
| 尖兵7號         | 中共       | 2007年 |
| TerraSAR-X   | 德國       | 2007年 |
| Cosmo-SkyMed | 義大利      | 2007年 |
| Radarsat-2   | 加拿大      | 2007年 |
| TecSAR       | 以色列      | 2008年 |
| RISAT(II)    | 印度       | 2009年 |

資料來源：一、〈衛星雷達及微波量測原理〉《衛星雷達與大氣、海洋遙測簡報》，成大衛星資訊研究中心，民國101年2月16日，頁4~7。

二、方冠又，〈雷達衛星影像之軍事運用——以商用雷達衛星影像為例〉，101年國軍電子戰參謀正規班專題研究，民國101年6月，頁6~7。

外，也成功研製了X及L波段的多極化機載合成孔徑雷達系統(解析度最高可達3公尺)，後續又發展即時數值影像處理器，具備全天候即時空中偵察能力。透過雷達影像所具全天候作業與對地表之穿透力，對大陸地區洪水災害監測、地質調查、海洋科學、農作物、生態評估及軍事偵察等方面，皆可有效發揮。此外，中共在北京建立RADARSAT衛星接收站，並編

11 張維正，〈合成孔徑雷達成像原理及應用介紹〉《國防通信電子及資訊期刊》，第6期，頁72。



訂SAR衛星之研究主題。在國家遙感中心組織下，結合遙感應用研究所、資源信息研究所、國家海洋第二海洋研究所、地質礦物部航空物探遙感中心、水利部遙感技術應用中心、大學、測繪科學研究院及軍方單位之學者專家，透過與加拿大Globe SAR合作及參與美國太空梭SIR-C之計畫吸取經驗。中共所發射之尖兵系列偵察衛星係結合合成孔徑雷達技術，並運用在機載及衛星載臺之突破創作，對於戰力增長，甚具作戰價值。其具備L波段、解析度低於10公尺性能，並配合連續數位影像傳輸，可達線上、即時、同步之高解析度雷達影像。<sup>12</sup>考量中共SAR雷達能力特點、弱點，概述如后：

### 一、中共SAR雷達能力特點

運用先進影像雷達獲得之情資，結合指管通情系統與衛星鏈路，將即時戰況傳送作戰指揮官作為用兵決策參考。在作戰考量上，UAV+SAR的組合已形成趨勢，戰時指派隱形UAV進入敵境，對於變異點(Variable Spot)，配合高解析度SAR即可看出端倪，並即時傳送，以達作戰效益。<sup>13</sup>中共SAR雷達衛星(1號、3號、5號、6號及10號)，具即時傳輸特性，可追蹤水面下航行潛艇及船艦。依SAR雷達功能特性，穿透雲霧、雨露等不受天候影響，可行晝夜間作戰任務。為加速開發SAR雷達衛星微波攝影技術，以取代昔日光學攝影之限制因素，以滿足其「制敵機先」之作戰優勢。研析其發展特點計有：

#### (一)系統整合

中共SAR雷達衛星裝備系統之建立係以整體考量為發展重點，考量各類型系統發展之獨特性而整合，以支援作戰任務及滿足作戰需求。

#### (二)作業安全

作業安全係中共SAR雷達衛星裝備系統建立之首要考量要件，包括人員及各類型重要設施與裝備均需達到安全基準，確保裝備系統正常運作。

#### (三)彈性機動

中共SAR雷達衛星裝備發展係考量作戰之機動力發揮及實質運用彈性之確保，於建置時係採複式配置及交替運用方式。

#### (四)技術前瞻

隨著中共SAR雷達衛星裝備系統之發展趨勢，中共針對所配置之武器系統考量其發展之限制，結合民間資源，據以研發具前瞻之尖端技術。

### 二、中共SAR雷達能力弱點

中共雷達裝備雖日新月異，不斷研發創新，但仍受各種因素影響，衡量其裝備系統規劃與籌建階段弱點仍有多聞，研析中共SAR雷達能力弱點計有：

#### (一)環境與系統限制

中共SAR雷達裝備受環境因素影響(例如：風、雨、雪、溫度、溼度、地形、太陽黑子、管導效應、電離層變化等自然現象)，對電磁波傳導有直接之影響，雖然裝備性能與人員技術可減低其效應，但仍受制裝備型式、用途與特性等影響，部分區域無法設置相同雷達裝備，對通連無盲區目標仍有執行窒礙。

12 黃楓臺，張浩基，〈中共太空戰力評估〉，國家太空中心，民國100年8月4日，頁23、24。

13 同註12。



## (二)架設地點及位置公開化

中共SAR雷達系統主要包含系統主機及傳輸設備，無論固定或機動設施，架設地點及位置均為我所偵知，係因為各國SAR衛星均須至聯合國ITU註冊，註冊信息包括軌道資料(高度、近地點及遠地點)、使用頻率及其天線尺寸，故各國均可查閱。這無非提供我電子戰干擾參數之重要依據，若遭我方破壞將立即失去效用。此外，針對中共SAR雷達系統裝備發展，系統介面規格或傳輸協定仍因各部隊現用系統形式不一，致使系統整合不易。

## 我軍因應之道

由於SAR雷達安裝於敵空中活動載臺如衛星、飛機或UAV等距離地面較遠(200公尺至1000公里)之載臺，導致物體反射回波至SAR雷達接收機時信號相對微弱，故極易遭受我方地面人為蓄意干擾。我方基本防衛作法概分如后：

### 一、強化偽冒誘餌工事構築及聯合作戰機制建立

強化我方偽冒誘餌數量購置與陣地構築工事，並依現有各型載臺(如陸基、艦艇及機載)強化聯戰機制，期達成陸海空整體網狀化作戰效能，於戰情傳輸與作戰計畫同步修正，讓作戰指揮官用兵決策下達更加精準與快速。

### 二、降低部隊任務作業風險及強化軍民偽裝認知

積極灌輸我方軍民人員偽裝認知，並結合部隊軍官團教育予以實施，期滿足作業風險因子降至最低程度。

### 三、提升軍民間通用技術及積極研發反偵測技術

運用軍民間通用技術，改良我方現有

偽裝迷彩設計，並積極研發影像偽裝等反偵測技術，以剋制敵衛星定位之發展趨勢。

### 四、落實部隊行動偽裝作為及假目標資訊之誘敵

因應地區特性及氣候變化針對中共SAR雷達或衛星環境與系統限制及安全架設及整合限制，我軍應時時檢視作戰地區特性及天候變化，除應落實我方部隊偽裝行動，以佯動作為適切加入各類型作戰計畫中執行，並應考量大氣變化及地質鬆動等因素，俾結合中央與地方政府最新都市變更計畫，積極製造可行之假目標資訊予以誘敵。

### 五、積極研發電戰干擾裝備及增強戰場之存活率

為強化我方電子戰作為，應付中共SAR雷達或衛星複式配置與交替運用，我方除積極發展相關之干擾裝備及欺騙戰術，並應於平時進行電子干擾及欺騙等作為之人才培訓工程，在戰術導彈研發上，也必須將其威脅源雷達等相關參數，建置於敵威脅資料庫中，期使各式電戰裝備足以剋制敵威脅，且資料庫情資皆達最新狀況，以增加我軍戰場存活率。

依「防衛固守、有效嚇阻」之戰略指導，以敵情威脅、作戰需求及科技發展前瞻思考，結合本國作戰指管共同作業環境(Common Operating Environment, COE)發展之資料交換及作業流程等相關標準與規範，整合公、民營機構科技能量，構建數位化新一代裝備系統，俾有效支援作戰。作戰規劃與發展，係依「科技先導、資電優勢、聯合截擊、國土防衛」建軍指導及聯合作戰需求，並考量敵情威脅與未來發展，構建資訊共通安全環境、整合作戰指管平臺與軍民通資資源，建立具備戰場覺



知(Situational Awareness, SA)分享功能之共同作戰圖像(Common Operating Picture, COP)，使各作戰單位可同步實施即時戰場情資交換，提升戰場透明度，增加指揮速度，據以發揮統合戰力，增強戰場監控與決策管理效能，達成爭取資電優勢、制敵機先目的。

## 結 論

SAR雷達技術除軍事用途外，在一般醫療院所之民眾健檢亦深具意涵。為強化我軍民通用技術之突破及透析中共國防科技化之實際作業進程，唯有增加對SAR雷達技術之深度與廣度認識，未來國家政經軍心四大國力方能有效發揮。此外，進軍世界舞臺之軟實力，SAR雷達技術也不可等閒視之，唯有積極掌握各類型SAR雷達關鍵技術，藉以改進現有偽裝設施，謀求我國反偵測技術之再突破，方足以有效因應衛星定位之發展趨勢。

中共雖已具備太空作戰之態勢，針對未來兩岸可能引發之臺海衝突，本軍仍應秉持平時即戰時、超敵勝敵之信念，賡續完成戰備整備之優勢作為，以迅速反應爭取戰場先機，並依戰況變化適時提供指揮官建議，以利指揮官下達系統運用決心，發揮裝備最大運用效能及確保戰力之有效發揮。

## 參考文獻

- 一、洪浩倫等人，〈星載SAR應用需求報告〉(桃園：國立中央大學通訊系統研究中心，民國98年)。
- 二、〈中國航天地面雷達設備新品——逆合成孔徑雷達〉《太空探索》，第2期，西元1997年2月，頁21，<http://wuxizazhi.cnki.net/Article/TKTS199702017.html>，民國101年7月19日下載。
- 三、〈北斗導航衛星系統架構分析與研究專題〉(高雄：空軍航空技術學院，民國98年10月)。
- 四、〈合成孔徑雷達的工作原理〉，<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1005021700333>，民國101年7月19日下載。
- 五、涂志華，〈超音波角頻譜合成孔徑成像原理之研究〉，國立交通大學碩士論文，民國86年。
- 六、〈橫向壓縮闊銀幕(Anamorphic widescreen)、全畫面(Full Screen)及不可變銀幕(Letter-box)〉，[http://www.yesasia.com/global/customer-support/%E7%94%A2%E5%93%81%E5%B8%B8%E8%A6%8B%E5%95%8F%E9%A1%8C/0-0-0-hti.973-zh\\_TW/question-answer.html](http://www.yesasia.com/global/customer-support/%E7%94%A2%E5%93%81%E5%B8%B8%E8%A6%8B%E5%95%8F%E9%A1%8C/0-0-0-hti.973-zh_TW/question-answer.html)，民國101年7月19日下載。
- 七、張子軒，〈合成孔徑聲納系統之研究——縱向解析度分析〉，碩士論文，民國100年7月29日。
- 八、方冠又，〈雷達衛星影像之軍事運用——以商用雷達衛星影像為例〉，101年國軍電子戰參謀正規班專題研究，民國101年6月。
- 九、張維正，〈合成孔徑雷達成像原理及應用介紹〉《國防通信電子及資訊期刊》，第6期。
- 十、黃楓臺，張浩基，〈中共太空戰力評估〉，國家太空中心，民國100年8月4日。

收件：102年4月18日

修正：102年4月22日

接受：102年4月23日