

多偏極雷達影像斑駁減抑之研究

王志添¹ 陳錕山² 胡婕美³

摘要

就 SAR 影像觀點而言，當地表粗糙度與雷達波波長相近時，雷達回波將有同調性干擾現象產生斑駁雜訊造成 SAR 影像判釋上的困難。多偏極資料係以交替改變偏極方式取像，其斑駁效應遠大於單偏極資料，因此斑駁雜訊減抑成爲 ENVISAT-1 雙偏極雷達影像資料於應用方面之重要課題。

在斑駁減抑約制條件爲不改變影像上均質目標平均值與降低影像斑駁雜訊，兼顧保有影像解析力，且在不同偏極間振幅差值應維持不變。因此在處理兩張偏極影像時，我們先分別對兩偏極影像作雷達特性統計模式分析，以線性化轉換作爲多偏極斑駁減抑處理以降低兩偏極之相關雜訊。我們以 ENVISAT-1 於 2003 年 6 月 16 日所獲取之雙偏極 (HH/HV) 影像作爲測試資料，經上述斑駁減抑處理後，兩張影像之等效觀點數皆由原約 3 觀點數提升至約 6 觀點數，同時在影像上仍能保有目標地物特徵，說明本文提出之方法有效減抑斑駁雜訊，同時保有原空間解析力，改善交替偏極影像於目標辨識上應用。

關鍵字：ENVISAT-1、斑駁雜訊、濾波、交替偏極 (Alternating Polarisation)

1. 前言

合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar, 簡稱 SAR) 爲主動式遙感探測工具，資料獲取幾乎完全不受水氣、雲、大氣組成或天候之影響，並具有不分晝夜獲取影像之能力，與傳統被動式遙感探測工具相較，其應用層面更爲廣泛。因此 SAR 影像於實際遙測領域中，有其不可取代之重要角色。歐洲太空署 (ESA) 於 2003 年三月已發射運作之 ENVISAT-1，2004 年加拿大太空署 (CSA) 將發射之 RADARSAT-2，以及日本 NASDA 將於 2004 年發射之 ALOS 等第二代衛星均載有先進之雷達遙測系統，除增加攝像角度模式，提高了災害監測時機動性外，並由原單偏極影像提升爲多偏極影像，進一步提升偵測目標之資訊內涵，對於地物地貌的分類與參數反演極有助益。

就 SAR 影像觀點而言，當地表粗糙度與雷達波波長相近時，雷達回波將有同調性干涉現象而產生斑駁雜訊。傳統光學影像常利用平均值、中值等方法過濾，以達到斑駁雜訊減抑之目的，但是這些方法都是建立在加成性斑駁雜訊模式上，在對於 SAR 影像特有之相乘性斑駁雜訊時，不易減抑其雜訊兼顧保留解析力。

過去學者們提出多種架構在雷達影像統計模式上方法，以求兼顧減抑斑駁雜訊及維持空間解析力，常見者如李氏濾波法 (Lee, 1981)、MAP 濾波法 (Lopes et al., 1993) 等，此類斑駁雜訊濾波法都是架構在單張影像上，並經由局部之統計特性處理，然而當處理窗區增大時，常會降低影像之空間解析力 (Bruniquel et al., 1997)。衛載 SAR 資料獲取可定時接收，且不受天候影響，因此資料在時間密度上較易掌握；在資料充足的條件下，將多時

¹ 國立中央大學太空遙測研究中心副研究工程師

² 國立中央大學太空遙測研究中心教授

³ 國立中央大學太空遙測研究中心研究助理

SAR 影像同時輸入並經由多時濾波器處理。如此不僅可祛除斑駁雜訊，仍可保持原有空間解析力 (Quegan et al,2000) (王志添、等，2003)。本研究我們仍引用 SAR 斑駁雜訊多變異模式，對於 ENVISAT-1 交替偏極資料，同時進行兩偏極影像斑駁減抑處理。

2. ENVISAT-1 ASAR 簡介

ENVISAT-1 為歐洲太空署 (ESA, European Space Agency) 之遙測衛星，其主要目的除了延續 ERS-1 與 ERS-2 雷達觀測工作外，更加裝了 GOMOS、RA-2、MERIS、MIPAS、MWR、LR、SCIA、AATSR 及 DORIS 等感測器，以期對於大氣、陸地、海洋及冰層進行整合性觀測研究；其所酬載之雷達系統稱為 ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar)。ASAR 為 C 波段多偏極合成孔徑雷達系統，可提供多種攝像模式以符合機動性應用之需求。多種攝像模式更可區分為高解析力與中低解析力兩類模式，以滿足區域性高解析力與全球性觀測需求。在區域性高解析力攝像觀測可選擇影像模式 (Image Mode, 簡稱 IM) 或交替偏極模式 (Alternating Polarisation Mode, 簡稱 AP)。於偏極解析方面 ASAR 可提供 HH、VV 及 HV 等偏極 (依攝像模式而異)，為一多偏極雷達系統，可提供目標物對於不同偏極電磁波之散射特徵，提升目標判釋、特徵萃取及物理特性反演等能力。

目前我們研究分析 ENVISAT-1 ASAR 資料時，因應地面監測需求必須考量地面之空間解析力，因此所使用之攝像模式以 IM 模式及 AP 模式為主，此兩種模式之影像幅寬皆為 100 公里，解析力皆為 30 公尺；唯當使用 AP 攝像模式時，是以雙偏極 (VV/HH, HH/HV 或 VV/VH) 雷達波束以交替掃描的方式偵測 (如圖 1)。此外，AP 模式根據不同入射角，可分成 7 個取像組態 (詳細參數列表見表 1)。

圖 2 為 2003 年 6 月 16 日 ENVISAT-1 AP4 HH/HV 交替偏極影像，由圖中可以比較出兩種偏

極的差異。過去單偏極衛星雷達僅能提供單一偏極影像資料，而 ENVISAT-1 所提供的交替偏極影像更有利於地形地物的分析與判釋，可說是衛星雷達的一大進展；但影像斑駁雜訊較大為其缺點，是故如何減抑斑駁雜訊且維持空間解析力，為其應用於地物辨識時首先必須解決之課題。現階段若能減抑交替偏極影像的斑駁雜訊，對於將來多偏極雷達影像資料應用相當有助益。

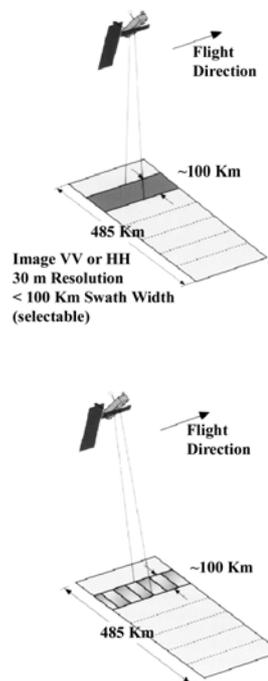


圖 1 ENVISAT-1 IM 模式 (上圖) 與 AP 模式 (下圖) 攝像方法比較。

表 1 ENVISAT-1 ASAR 七種不同入射角組態參數表

IM/AP 組態	圖幅寬度 [Km]	近距入射角	遠距入射角
IM1/AP1	108.4-109.0	14.1°-14.4°	22.2°-22.3°
IM2/AP2	107.1-107.7	18.4°-18.7°	26.1°-26.2°
IM3/AP3	83.9-84.3	25.6°-25.9°	31.1°-31.3°
IM4/AP4	90.1-90.6	30.6°-30.9°	36.1°-36.2°
IM5/AP5	65.7-66.0	35.5°-35.8°	39.2°-39.4°
IM6/AP6	72.3-72.7	38.8°-39.1°	42.6°-42.8°
IM7/AP7	57.8-58.0	42.2°-42.6°	45.1°-45.3°

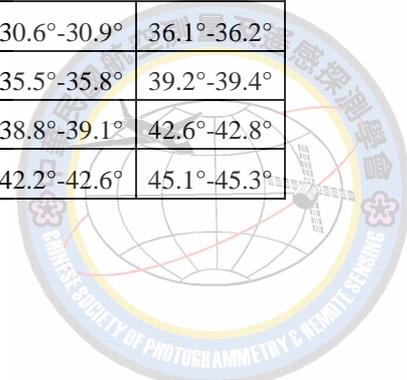
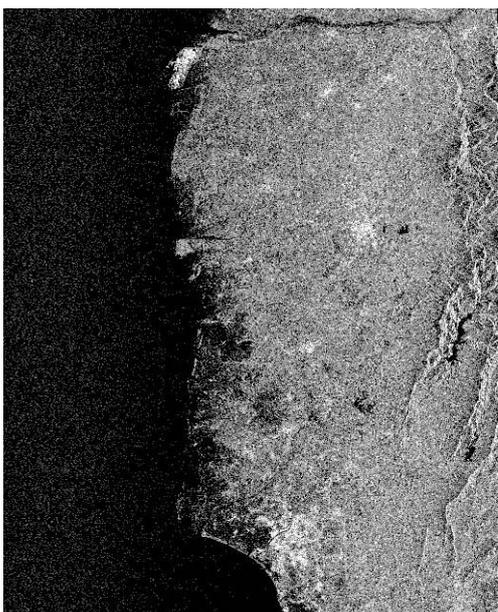
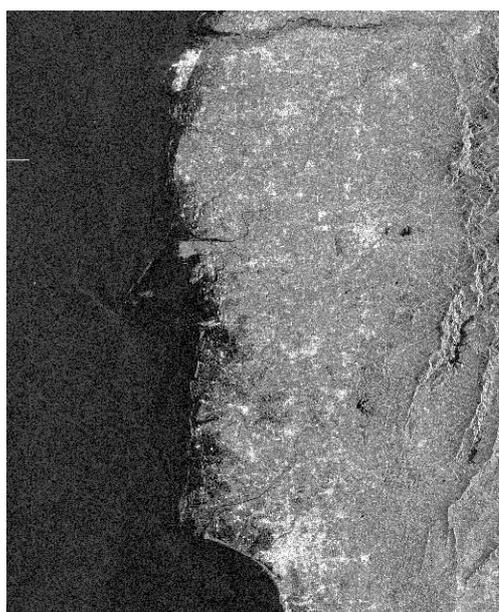


表 2 ENVISAT-1 高解析力 ASAR 規格
(摘自：ESA ASAR Product Handbook, 2002)

產品類別	影像模式 (IM)	交替偏極模式 (AP)	浪場模式(WV)
Precision Image	像元大小 =12.5m 解析力 < 28m ENL=3.9	像元大小 =12.5m 解析力 < 30m ENL=1.9	
Single Look Complex	方位解析力 =6m 斜距解析力=9m	方位解析力 =12m 斜距解析力 =9m	
Ellipsoid Geocoded	像元大小 =12.5m 解析力 < 30m ENL=3.9	像元大小 =12.5m 解析力 < 30m ENL>1.9	
Single-Look Complex Wave Imagette			方位解析力 =12m 斜距解析力=9m



HH 偏極振幅影像



HV 偏極振幅影像

圖 2 ENVISAT-1 AP4 影像(2003 年 6 月 16 日)

表 2 列出 ENVISAT-1 高解析力 ASAR 影像資料之規格，由表中可知交替偏極模式之等效觀點數 (ENL) 為 1.9 左右，接下來我們將使用圖二之交替偏極影像，選取鰲鼓地區東石農場為例，設定其制約條件為不改變原影像中均質區之區域平均值，與斑駁雜訊最小化，利用多頻濾波器，提高原影像之等效觀點數。

3.多偏極 SAR 影像統計特性

在介紹斑駁雜訊濾除前，我們先了解多偏極 SAR 影像統計特性是有必要的。對於 N 觀點數 SAR 影像而言，其強度 (I) 與振幅 (A) 之統計特性滿足 $2N$ 自由度的 Chi-Square 分佈函數 (Lee,1992) 分別表示如下列兩式：

$$P(I) = \frac{N^N I^{N-1}}{(N-1)! \sigma^{2N}} e^{-NI/\sigma^2}, I \geq 0 \quad (1)$$

$$P(A) = \frac{2N^N A^{2N-1}}{(N-1)! \sigma^{2N}} e^{-NA^2/\sigma^2}, A \geq 0 \quad (2)$$

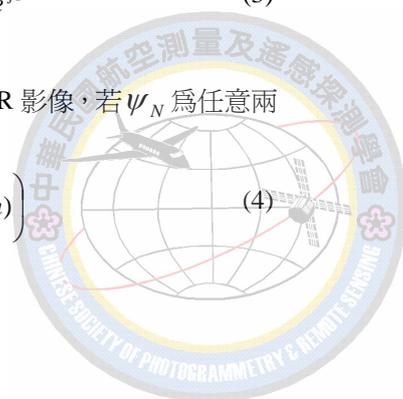
其中 σ 為標準差。

設 S_i 為任意偏極資料，則我們可計算任意兩偏極間之相關係數如下：

$$\rho_c = \frac{\langle S_i S_k^* \rangle}{\sqrt{\langle |S_i|^2 \rangle \langle |S_k|^2 \rangle}} = |\rho_c| e^{j\theta} \quad (3)$$

對 N 觀點多偏極 SAR 影像，若 ψ_N 為任意兩偏極間之相位差：

$$\psi_N = \text{Arg} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_j(n) S_k^*(n) \right) \quad (4)$$



則 ψ_N 之機率分布函數可寫如下 (Lee et al., 1994) :

$$P_{\psi}^{(N)}(\psi) = \frac{\Gamma(N+1/2)(1-|\rho_c|^2)^N \beta + (1-|\rho_c|^2)^N}{2\sqrt{\pi}\Gamma(N)(1-\beta^2)^{N+1/2} + \frac{2\pi}{\beta} F(N, 1; 1/2; \beta^2)} \quad (5)$$

其中, $-\pi \leq \psi \leq \pi$, $\beta = |\rho_c| \cos(\psi - \theta)$; $F(N, 1; 1/2; \beta^2)$: Gauss hypergeometric 函數, 定義如下 :

$$F(a, b, c, z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(a)_n (b)_n}{(c)_n} \frac{z^n}{n!} \quad (6)$$

$$(x)_n = \frac{\Gamma(x+n)}{\Gamma(x)} = x(x+1)(x+2)\cdots(x+n-1) \quad (7)$$

如圖 3 顯示在不同觀點數下相位差之分布。觀點數增加時, 很明顯地, 分布曲線變窄, 表示標準差降低。當然, 相關係數增加時, 分布曲線也會變窄。

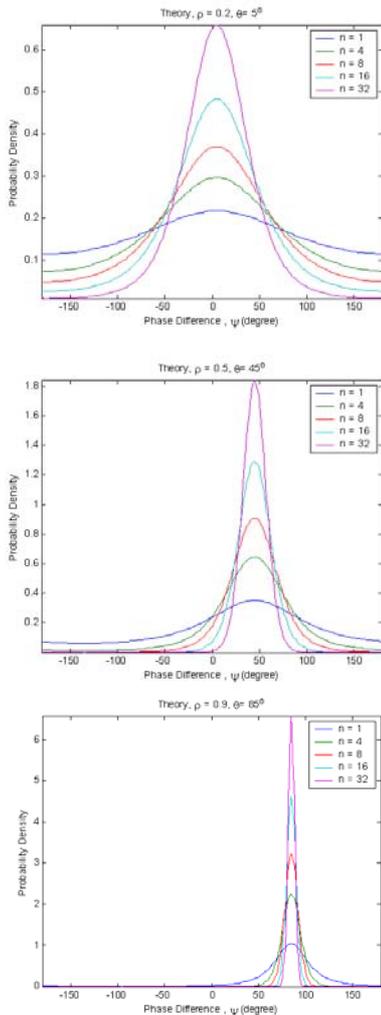


圖 3. N 觀點任意兩偏極 SAR 影像間相位差之機率分布

現若令 :

$$\eta = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_i(n) S_k^*(n)}{\sqrt{\langle |S_i|^2 \rangle \langle |S_k|^2 \rangle}} \quad (8)$$

則 η 之機率分布函數為 (Lee, et al., 1994) :

$$P(\eta) = \frac{4N^{N+1} \eta^N}{\Gamma(N)(1-|\rho_c|^2)^2} I_0\left(\frac{2|\rho_c|N\eta}{1-|\rho_c|^2}\right) K_{N-1}\left(\frac{2N\eta}{1-|\rho_c|^2}\right) \quad (9)$$

其中 $I_0(\cdot)$, $K_{N-1}(\cdot)$ 為修正貝氏函數。

進一步考慮兩偏極間強度與振幅之比值時, 我們可得它們的分布如下 :

$$h = \frac{\sum_{n=1}^N |S_i(n)|^2 / \langle |S_i|^2 \rangle}{\sum_{n=1}^N |S_k(n)|^2 / \langle |S_k|^2 \rangle} \quad (10)$$

$$P^{(N)}(h) = \frac{\Gamma(2N)(1-|\rho_c|^2)^N (1+h)h^{N-1}}{\Gamma(N)\Gamma(N)[(1+h)^2 - 4|\rho_c|^2 h]^{N+1/2}} \quad (11)$$

$$p^{(N)}(v) = \frac{2\Gamma(2N)(1-|\rho_c|^2)^N (1+v^2)v^{2N-1}}{\Gamma(N)\Gamma(N)[(1+v^2)^2 - 4|\rho_c|^2 v^2]^{N+1/2}}$$

$$v = \sqrt{h} \quad (12)$$

如圖 4 顯示在不同觀點數(1-32)與相關係數(0.2,0.5)下振幅比之分布。

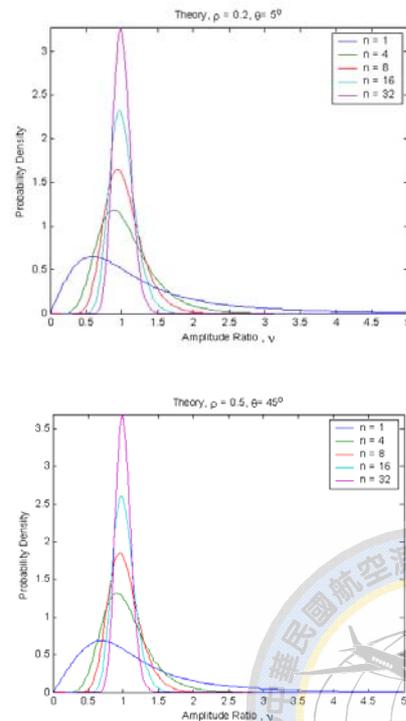


圖 4 振幅比之機率分佈



4. 多偏極斑駁雜訊減抑方法

在 N 觀點 SAR 影像處理上相當於將合成孔徑長度 (都卜勒頻寬) 分為 N 段, 每一段分別獨立處理為振幅影像或強度影像, 再將此 N 張影像平均為 N 觀點之 SAR 影像。處理後之 SAR 影像雖能降低斑駁雜訊, 提高訊雜比, 但也降低了影像空間解析力。考慮以交替偏極模式獲取之影像作為輸入影像 I_l , 線性轉換成輸出影像 J_l , 以 $J_l = \sum_{i=1}^N A_{li} I_i$ 表示, 此處之多頻濾波約制條件為: (a) 不改變原影像中原均質區之區域平均值, 即求取 $\sum_{l=1}^N (< J_l > - < I_l >)^2$ 最小。

(b) 斑駁雜訊最小化: 即求取 $\sum_{l=1}^N (J_l - < J_l >)^2$ 最小化。

我們以常用之拉格朗日乘數法 (Lagrange multiplier method) 求取, 得下列最佳化係數 A_{li} (Bruniquel et al., 1997):

$$J_l = \sum_{i=1}^N A_{li} I_i \quad l=1, 2, \dots, N \quad (13)$$

求得 A_{li} 如下:

$$A_l^T = \langle I_l \rangle \frac{C_l^{-1} \mu}{\mu \cdot C_l^{-1} \mu} \quad (14)$$

其中 $A_l = (A_{l1}, A_{l2}, \dots, A_{lN})$ 是為輸出影像 J_l 之轉換係數向量, T 表示其矩陣轉置, 而平均值向量定義為:

$$\mu^T = (\langle I_1 \rangle, \langle I_2 \rangle, \dots, \langle I_N \rangle) \quad (15)$$

以及共變異數矩陣定義為:

$$C_l(i, j) = \langle I_i I_j \rangle - \langle I_i \rangle \langle I_j \rangle \quad (16)$$

此式之運算為在影像上作處理計算時, 可以求取影像間之相關性, 簡化後其濾波影像 J_l ($l = 1, 2, \dots, N$) 與 I_i 轉換關係如下 (Quegan et al., 2000):

$$J_l(x, y) = \frac{\langle I_l \rangle}{N} \sum_{i=1}^N \frac{I_i(x, y)}{\langle I_i \rangle}, l=1, 2, \dots, N \quad (17)$$

上式中 $\langle I_l \rangle$ 表示 I_l 於 (x, y) 處之區域平均值, 作為濾波求解時權重參數, 表示為該影像中均質目標的散射特性, 本文選用自調式李氏濾波法, 在此方法要求其移動窗區中為均質地物局部統計, 考慮待處理像元 (即窗區中心像元) 位於影像上, 此窗區範圍內可包含兩種不同地物, 依地物邊緣特徵決定可調式窗區計算。李氏濾波法是以純量來描述影像灰度值, 並以估計度量值與真值之誤差平方期望值為最小的設定法做為最佳化影像條件。其優點為濾波過程中, 係依據雷達影像之本身特性 (如強度或振幅影像、觀點數) 作為濾波時之統計模式參數, 排除非均質區效應, 因此在濾波過程中仍可保有均質區之目標訊號。斑駁指數 (speckle index) 之定義 (Lee, 1994) 如下:

$$\beta = \frac{\sqrt{\text{var}(\hat{x})}}{E[\hat{x}]} \quad (18)$$

對於強度影像 (I) 與振幅影像 (A) 之等效觀點數 (ENL) 之定義分別為:

$$ENL(I) = \frac{1}{\beta^2} \quad (19)$$

$$ENL(A) = \left(\frac{0.552}{\beta^2} \right)^2 \quad (20)$$

由上述關於斑駁指數與等效觀點數的定義可知, 斑駁指數為評估影像中斑駁雜訊效應的指數, 而等效觀點數與斑駁指數的平方成反比, 意即當影像中斑駁雜訊愈少, 等效觀點數愈高。

5. 結果分析

首先, 使用 AP 模式 HH 偏極, 影像大小 1024 像元×1024 像元之 SAR 影像資料, 於均質區中選取 15 個樣點, 分析其等效觀點數 (如圖 5 (a)(b)), 所得之等效觀點數為 3.3, 經過多偏極濾波後, 等效觀點數提高到 6.1 (如圖 5(c)(d))。



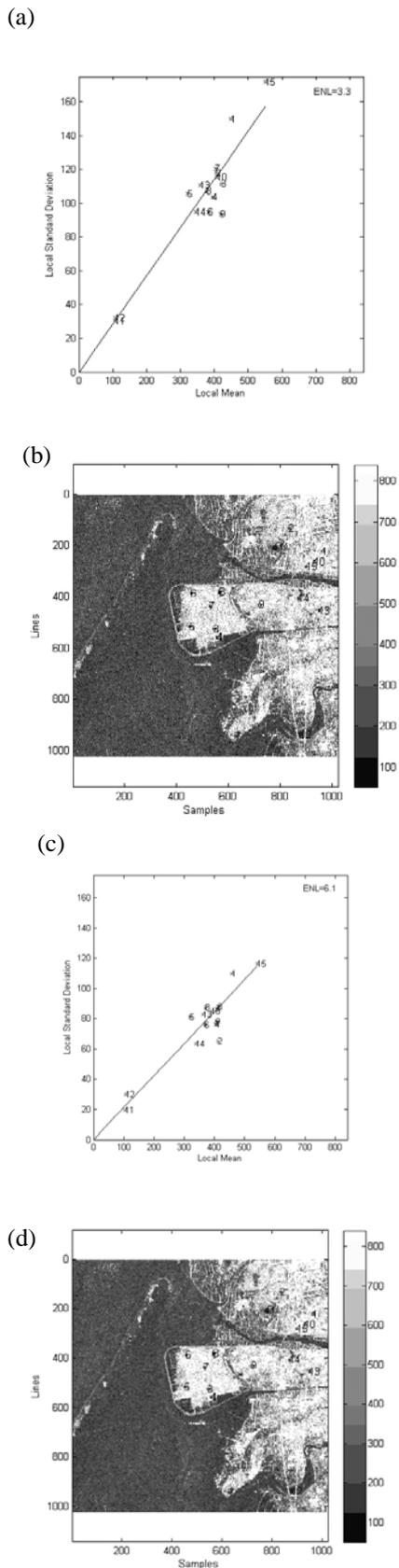


圖 5 (a)圖為原始 HH 影像等效觀點數分析與(b)圖均質區樣點分布圖。(c)圖濾波 HH 影像資料等效觀點數分析與(d)圖均質區樣點分布圖。

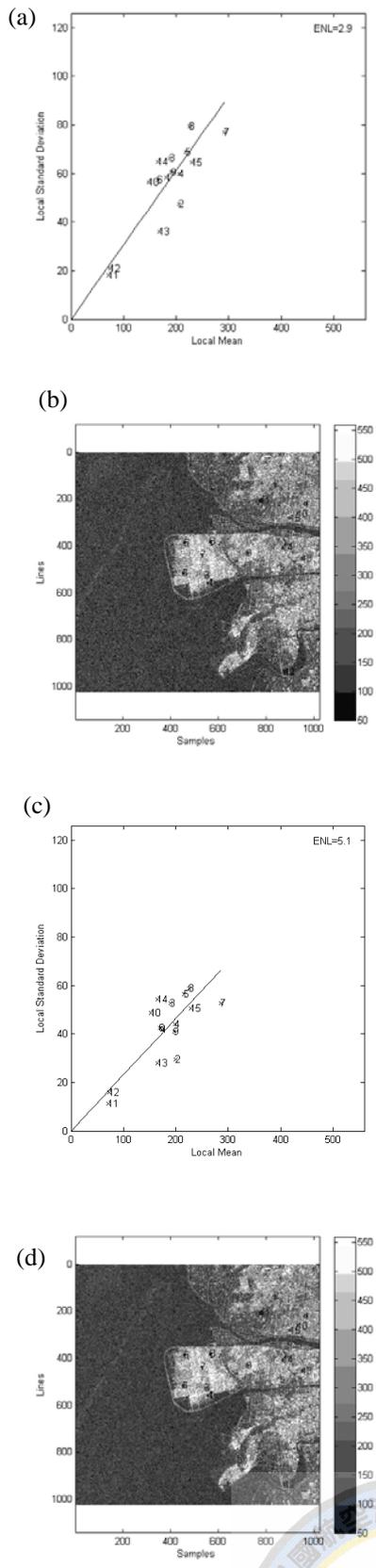


圖 6 (a)圖原始 HV 影像等效觀點數分析與(b)圖均質區樣點分布圖。(c)圖濾波後 HV 影像等效觀點數分析與(d)圖均質區樣點分布圖。



同樣地，利用 AP 模式 HV 偏極 SAR 影像資料，以鰲鼓地區為中心，選取影像範圍為 1024 像元×1024 像元的區域，並選取與 HH 偏極影像相同的 15 個樣點，分析其等效觀點數（如圖 6(a)(b)），所得之等效觀點數為 2.9，經過多頻濾波後，等效觀點數提高到 5.1（如圖 6(c)(d)）。

由 ENVISAT-1 高解析力 ASAR 規格（表二）可得知，原始 AP 影像等效觀點數標準值為 1.9 左右，但是我們所使用的 HH 與 HV 偏極影像於濾波前之等效觀點數值就分別為 3.3 與 2.9，其原因是由於影像在濾波之前已經過正射化的程序，而此結果符合表二，正射化後的 AP 影像等效觀點數大於 1.9 之說法。由上述實驗結果，我們將 HH 偏極之等效觀點數由濾波前 3.3 經由多頻濾波後提升至 6.1，將 HV 偏極之等效觀點數由濾波前 2.9 經由多頻濾波後提昇至 5.1，說明多頻濾波確實可減抑斑駁雜訊。

另外，比較 ENVISAT-1 AP 模式 HH 偏極濾波前與濾波後（圖 5）影像均質區中 15 個樣點之統計特性直方圖（如圖 7），可發現經過多頻濾波後之平均值為 542.1，與濾波前之平均值 551.3 相差不多，但標準差於濾波後卻由 171.7 降低至 116.2，直方圖分布亦較為集中，顯示均質區中斑駁雜訊已大為降低。

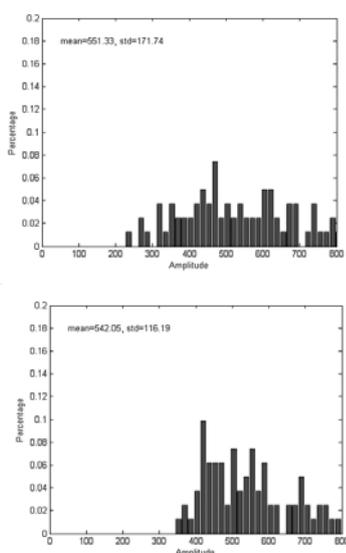


圖 7 HH 影像濾波前（上圖）與濾波後（下圖）均質區樣點統計特性直方圖。

而於 ENVISAT-1 AP 模式 HV 偏極濾波前與濾波後（圖 6）影像均質區樣點之統計特性直方圖（圖 8）中，平均值於濾波前為 230.2，濾波後為 229.5，標準差卻由 64.4 降低至 50.6。

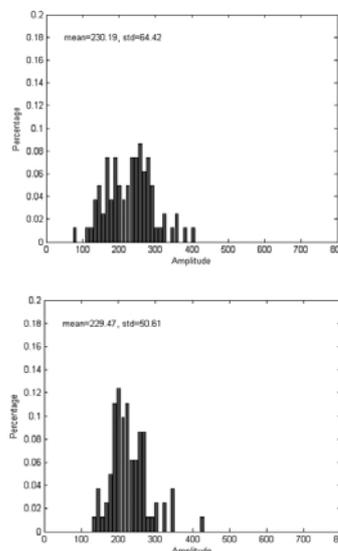


圖 8 HV 影像濾波前（上圖）與濾波後（下圖）均質區樣點統計特性直方圖。

另外，我們分別將濾波前後 HH 偏極影像選取出一影像大小為 256 像元×256 像元的區域（圖 9），其中縱貫圖片中央部分的深色線條為道路，道路右側較暗色的部分為珊瑚潭。兩張影像相較之下，可以明顯發現濾波前影像（左圖）斑駁雜訊較為嚴重，而濾波後影像（右圖）斑駁雜訊減輕相當多，而道路與湖泊邊緣部分卻沒有被模糊化的現象。

同樣地，如圖 10 所示於 HV 偏極影像中選取相同區域，也可以明顯辨識出斑駁雜訊於濾波後減輕，仍保有原始點目標物或道路、湖泊等特徵。

而由另一區域 HV 偏極，影像大小 128 像元×128 像元濾波前後影像（圖 11），更可以清楚分辨兩者之不同，道路部分並沒有因為經過多頻濾波後模糊，依然清晰可辨識，相較之下左圖在經過濾波後斑駁雜訊減少很多。



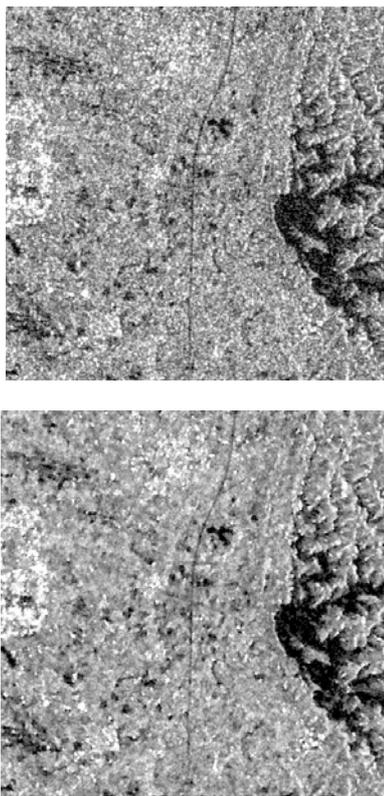


圖 9 上圖為原始影像(HH 偏極)，下圖為濾波後影像，影像大小為(256x256)

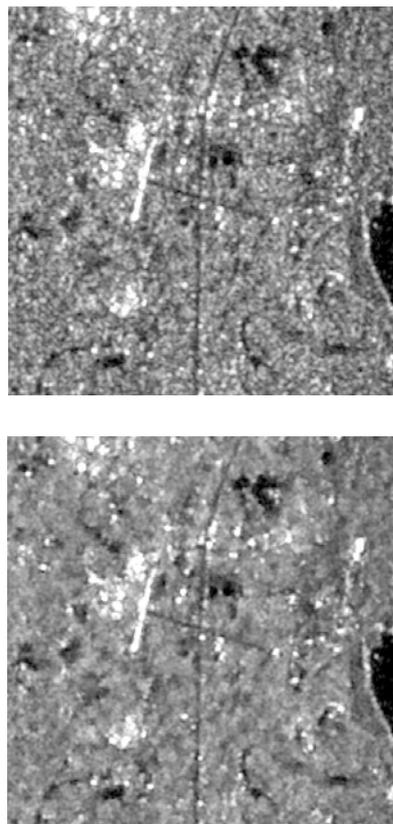


圖 11 上圖為原始影像(HV 偏極)，下圖為濾波後影像，影像大小為(128x128)

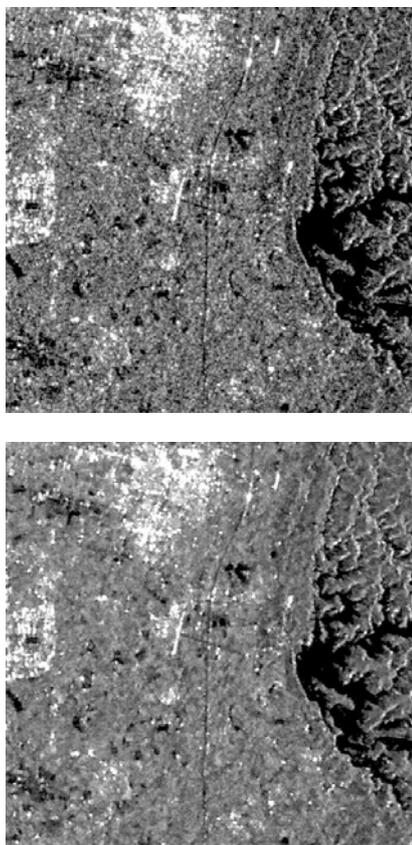


圖 10 上圖為原始影像(HV 偏極)，下圖為濾波後影像，影像大小為(256x256)

6. 結論與建議

多偏極雷達系統，可提供目標物對於不同偏極電磁波之散射特徵，提升目標判釋、特徵萃取及物理特性反演之能力。但是當地表粗糙度與雷達波波長相近時，雷達回波將因為同調性干涉現象而產生斑駁雜訊。傳統光學影像常利用平均值、中值等方法過濾雜訊，以達到斑駁雜訊減抑之目的，但是這些方法都是建立在加成性斑駁雜訊模式上，而對於 SAR 影像特有之相乘性斑駁雜訊，不易減抑其雜訊與兼顧解析力。

由於在多頻濾波過程中，我們所設定的約制條件為不改變區域平均值與降低斑駁雜訊，並對不同偏極影像分別求取各區域平均值，作為濾波處理時之權重，因此在濾波後不僅能確實減抑均質目標物斑駁雜訊，對於影像點目標物仍能清晰辨識。

在斑駁減抑驗證部分，我們利用等效觀點數、



樣點統計特性直方圖，以及濾波前後雷達影像資料實際對照。原始 AP 影像之等效觀點數理論值為 1.9 左右，但是我們所使用的 HH 與 HV 偏極影像於濾波前之等效觀點數分別為 3.3 與 2.9，其原因是由於影像產品就已經經過重新取樣的程序，而結果也符合正射化後的 AP 影像等效觀點數值大於 1.9 之說法。經由濾波後，等效觀點數分別提昇至 6.1 與 5.1；而濾波後之平均值與濾波前差距不大，標準差卻下降許多，而我們於均質區中選取的 15 個樣點統計特性直方圖亦較濾波前集中；於實際衛星雷達影像中，也可以明顯判別出濾波後影像中斑駁雜訊較濾波前影像減抑相當多，而其中的點目標物並沒有模糊的現象。

經由上述種種量化分析與實際比對濾波前後衛星雷達影像資料，可證實我們所使用的多頻濾波器除了能有效減抑斑駁雜訊外，並能維持原有之空間解析力，確實保留濾波前點目標物之特徵，對於將來目標物識別有相當大的助益。因此多頻濾波器將可提供作為未來如 RADARSAT-2、ALOS 等衛星上交替偏極雷達影像資料前期處理時之斑駁雜訊減抑方法。

誌謝

本研究承蒙行政院國科會(設置資源衛星接收站運轉與發展計畫)與水利署(雷達觀測技術應用於水文地文變遷之研究計畫)支持，研究得以順利完成。

參考文獻

- Lopes, A., E. Nezry, R. Touzi and H. Laur, 1993, "Structure detection and statistical adaptive speckle filtering in SAR images", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14, No. 9, pp.1735-1758.
- European Space Agency, 2002, "Envisat ASAR

Product Handbook", Issue 1.1, 1 December 2002.

- Lee, J. S., 1981, "Speckle analysis and smoothing of synthetic aperture radar images", *Computer Graphics and Image Processing*, vol.17, pp.24-32.
- Lee, J. S., Kari Hoppel and Stephen A. Mango, 1992, "Unsupervised Estimation of Speckle Noise in Radar Images", *Int. Journal of Imaging Systems and Technology*, vol.4, pp.298-305.
- Lee, J. S., Kari Hoppel and Stephen A. Mango, 1994, "Intensity and phase statistics of multi-look polarimetric and interferometric SAR imagery", *IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens.*, vol. 32, pp.1017-1028.
- Lee, J. S. and I. Jurkevich, 1994, "Speckle Filtering of Synthetic Aperture Radar Images : A Review", *Remote Sensing Reviews*, vol.8, pp.313-340.
- Bruniquel, J. and L. Lopes, 1997, "Multi-variate optimal speckle reduction in SAR imagery", *Int. J. Remote Sensing*, vol.18, pp.604-627.
- Quegan, S., T. L. Toan, J. J. Yu, F. Ribbes and N. Floury, 2000, "Multitemporal ERS Analysis Applied to Forest Mapping", *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, vol 38, no.2, pp.741-753.
- 王志添，陳錕山，2003，"雷達影像多時處理研究"，*Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol.8, no.1, March 2003, pp.45-56.



A Study of Speckle Reduction for Multi-polarization SAR Images

C.T. Wang¹ K.S. Chen² C.M. Hu³

ABSTRACT

Multi- polarization SAR imagery data are important for a wide range application such as retrieval of soil moisture, vegetation mapping, and terrain cover classification. However, these alternative polarization data suffer more serious speckle noise caused by the alternating scanning. Speckle noise is inherently induced from the coherent processing of the backscattered signals and substantially degrades the effectiveness of images interpretation and target recognition/identification. To facilitate scene interpretation and qualitative applications of such SAR images, the speckle noise must be reduced to an acceptable level while preserving the polarimetric properties between different polarization data.

In this article, we proposed an effective approach that stems from a processing a series of images. A linear transformation that decorrelates the multi-polarization was carried out, followed by the Lagrange multiplier method to find a set of optimal filtering weights that are related to local image statistics. The effectiveness of the method was verified using the ENVISAT-1 Alternating Polarisation Mode HH/HV images acquired on 16th June 2003 over Taiwan. It is found that the equivalent number of looks (ENL) is greatly improved from 3 to 6, and the strong targets are well preserved without scarifying the spatial resolution.

Key Words : ENVISAT-1 、 Speckle noise 、 Filter 、 Alternating Polarisation

¹ Associate Research Engineer, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

² Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

³ Research Assistant, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

