

適用於 CCSDS 壓縮檔案位元錯誤造成影像破損之 快速簡易修復法

戴顯權

國立成功大學

電機系教授

sctai@mail.ncku.edu.tw

趙乾言

國立成功大學

ChianYen.Chao@gmail.com

摘要

Neighborhood Similar Pixel Interpolator (NSPI) 演算法原本是用於修復 Landsat ETM+ SLC-off 的破損影像，在本篇論文中，我們提出一個適應性搜尋視窗改良 NSPI 演算法取得相似像素的方式，並適用於 CCSDS 壓縮檔案位元錯誤造成大範圍的衛星遙測影像破損。測試結果顯示適應性搜尋視窗可以有效地減少影像修復所耗費的時間，並同時獲得較佳的修復影像品質。

關鍵詞：CCSDS、影像處理、影像修復。

Abstract

In this paper, we propose an adaptive search window method to improve the way to acquire similar pixels of Neighborhood Similar Pixel Interpolator (NSPI) approach that was originally developed to fill the gaps due to the Landsat ETM+ Scan Line Corrector (SLC)-off problem and make it work well on the large-scale contamination in satellite remote sensing images by reason of the bit-error compressed file of CCSDS. The results show that the adaptive search window method can reduce the time to restore, and obtain better reconstructed-image quality.

Keywords: CCSDS, image processing, image restoration.

1. 前言

SPOT 系列衛星遙測影像是由法國國家太空研究中心 (CNES)、瑞典與比利時共同合作開發的，乃目前全球最為廣泛使用的衛星遙測影像之一。地表上的覆蓋物質對於不同光譜的反射即吸收程度不同，例如水對於紅外光十分敏感而植物對於綠光的則反應強烈，藉此我們可以透過 SPOT 衛星多種的遙測感應器接收不

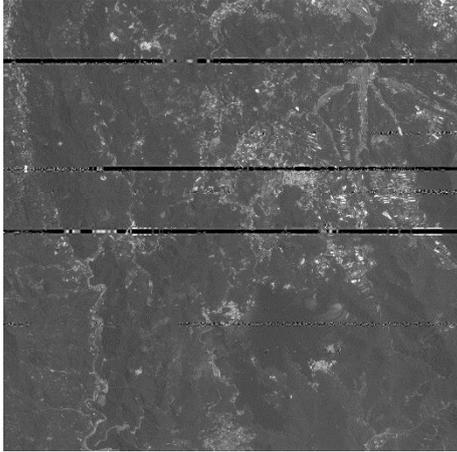
同光譜的衛星遙測影像，藉以應用於氣象觀測、軍事用途、都市規劃、地質科學等研究。

然而，衛星遙測影像傳輸卻因為其龐大的資料量而顯得困難，為了解決這個問題，太空資訊系統諮詢委員會 (Consultative Committee for Space Data System, CCSDS) 於 1987 年提出結合小波轉換和位元平面編碼的影像壓縮標準 (CCSDS-ICS) [1]，它具有無失真壓縮、高壓縮率以及低複雜度等優點，並已廣泛使用於衛星遙測影像的壓縮上。

原始的 CCSDS 壓縮規格並沒有相關的容錯能力，加上它所採用的壓縮編碼方式是不等長編碼 (Variable-length Coding, VLC)，如果在傳輸的過程中發生壓縮檔案位元錯誤，即有可能造成無法順利解壓縮或是解壓縮後的衛星遙測影像損毀，加上考慮到觀測衛星的運轉週期以及系統的記憶體大小等硬體限制，我們很難再次取得同一張衛星遙測影像，故許多文獻也都針對各種衛星遙測影像的破損類型提出了相關的影像修復演算法。

一般來說，衛星遙測影像的修復需要完好的輔助影像 [2]-[6]，2004 年美國地質調查局 (U. S. Geological Survey, USGS) 利用區域性直方圖匹配的方法去求得破損影像以及參考影像間的轉換公式，接著透過參考影像和轉換公式得到破損影像的預測值 [2]，2006 年 Feng Gao 等人藉由對衛星遙測影像的觀察，發現破損影像周圍的相似像素可以較準確地提供破損影像的預測值 [3]，在此之後，Jin Chen 和 Wei Hu 等人根據這樣的觀察結果提出 Landsat ETM+ SLC-off 破損影像的修復方式 [4]-[5]。

這些影像修復演算法雖然在 Landsat ETM+ SLC-off 破損影像的修復上具有不錯的效果 [2]-[5]，然而 CCSDS 的壓縮規格是以“段” (Segment) 為一個壓縮單位，為了硬體的實作方便，一個“段”的大小通常會設為 8×原始影像的寬，因此 CCSDS 壓縮檔案位元錯誤所造成的影像破損區塊常常是大範圍且不具



圖一：在百萬分之一機率下隨機產生位元錯誤於 CCSDS 壓縮影像所造成的影像破損。

有固定的尺寸(圖一)，因此在這裡可以參考 Xiaolin Zhu 針對除雲的需求所改良的權重求得方式使之可以適用於大範圍的破損影像修復[6]，但是這一類型的演算法必須定義良好的搜尋視窗大小並且在搜尋相似像素的過程中會耗費大量的計算時間。因此，我們提出一個適應性搜尋視窗改良 Neighborhood Similar Pixel Interpolator (NSPI) 演算法取得相似像素的方式，使之在修復 CCSDS 壓縮檔案位元錯誤所造成的影像破損時可以減少所耗費的時間，同時提升修復影像的品質。本篇論文之後的章節如下，第二小節將介紹 NSPI 與適應性搜尋視窗演算法，第三小節則是描述我們的測試方式以及根據測試結果作分析，最後，第四小節是本篇論文的總結以及未來發展目標。

2. 適應性搜尋視窗的鄰近相似像素修復法 (ASW-NSPI)

2.1 Neighborhood Similar Pixel Interpolator (NSPI)

NSPI 演算法是假定破損區塊周圍的鄰近像素和破損區塊內的像素會具有相同的光譜特性，於是我們可以在一張以上的參考影像上搜尋鄰近的相似像素，接著以這些相似像素與目標像素的像素值差異和像素間距離算出權重並求得目標像素的預測值。

在實作方面，NSPI 定義了兩種獲得目標像素預測值的方式，第一種方法是直接利用權重結合破損影像上的相似像素值藉此得到目標像素的空間預測值，第二種方法則是藉由破損

影像與參考影像間的目標像素和相似像素相互內插得到目標像素的時間預測值，這麼做的好處不只有可以保留空間的連續性，在異質性較高的區塊也比其他已知的修復方法能達到較好的效果。公式(1)和(2)將分別求得上述定義的兩種預測值：

$$L_1(x, y, t_2, b) = \sum_{i=1}^N W_i \times L(x_i, y_i, t_2, b) \quad (1)$$

$$L_2(x, y, t_2, b) = L_2(x, y, t_1, b) + \sum_{i=1}^N W_i \times (L(x_i, y_i, t_2, b) - L(x_i, y_i, t_1, b)) \quad (2)$$

其中 L 表示為特定的像素值， x 與 y 為破損像素的位置， x_i 與 y_i 則為第 i 個相似像素的位置， t_1 與 t_2 分別為參考影像以及破損影像拍攝的時間， b 指的是該影像的波段， N 為相似像素的總數， W_i 為各個相似像素值的權重。

NSPI 演算法的優點在於它是逐像素計算目標像素的預測值，較能保留修復後的細節，但同時也在修復的過程中增加不少運算量，假如用於像 CCSDS 壓縮檔案位元錯誤造成的大範圍破損將會耗上不少時間。於是我們根據像素的鄰接性定義了新的搜尋視窗，以下將介紹適應性搜尋視窗以及其在影像修復上所能達成的效果。

2.2 像素鄰接性 (Adjacency) 的應用與適應性搜尋視窗

透過 NSPI 演算法，我們已經知道如何透過相似像素獲得破損區塊的預測值，但原始的 NSPI 是藉由定義好的 *RMSD* 閾值篩選搜尋視窗內所有的像素，因此我們必須計算所有像素與目標像素的像素值差異以及像素間距離，這麼作雖然可以為破損影像修復提供更多輔助，卻也造成龐大的運算量，另一方面，僅藉著 *RMSD* 閾值篩選相似像素的也不可靠，當搜尋視窗橫跨了一種以上的地表覆蓋物時，難保這些地表覆蓋物對於不同光譜會有相同的反應，並可能造成相似性上的誤判，使得修復的過程中參考到不適當的像素值，圖二中，我們可以發現(a)圖未參考像素鄰接性的結果使得每個色塊中都會有些微的瑕疵點，而且邊緣部分也不如(b)圖參考像素鄰接性的結果來得俐落。

像素的鄰接性常用來表示影像中各個像素是否存在於同一個群集，在我們接下來的應用



(a)



(b)

圖二：(a)圖為未使用鄰接性作為相似像素判斷條件之一的結果，(b)圖則是使用鄰接性作為相似像素判斷條件之一的結果。

裡，像素的鄰接性即可以拿來判斷各個像素是否存在於同一種地表覆蓋物中，藉此避免跨越不同的地表覆蓋物避免取得不適當的相似像素，更可以在每次搜尋之後根據搜尋的結果判斷是否提早結束搜尋的過程以減少計算時間，以下為適應性搜尋視窗演算法的流程：

- Step 1. 在參考影像上目標像素的相對位置周圍一個像素距離的像素中利用 *RMSD* 閾值搜尋相似像素，並將找到相似像素的位置作標記。
- Step 2. 在參考影像上目標像素的相對位置周圍兩個像素距離的像素中搜尋相似像素，相似像素的篩選條件除了要小於 *RMSD* 閾值之外，還必須符合周圍一個像素距離的像素中至少有一個是已被標記的相似像素這樣的情形下才可以視該像素為此次搜尋所找到的相似像素。
- Step 3. 將搜尋的範圍增加一個像素距離，並重複步驟二、三直到該次搜尋沒有找到任何相似像素。

3. ASW-NSPI 演算法測試

測試使用的衛星遙測影像資料分別為 mountain 和 desert 兩組 SPOT5 影像，首先，利用 CCSDS 的壓縮規格將這兩組圖中各個波段的影像作壓縮編碼，再以百萬分之一的機率於各個壓縮檔上隨機產生位元錯誤，最後蒐集可以成功解壓縮並有產生明顯破損區塊的結果。

在修復開始之前，我們以互相關法 (*Cross-Correlation*) 對破損影像作偵錯並標記破損區塊的位置：

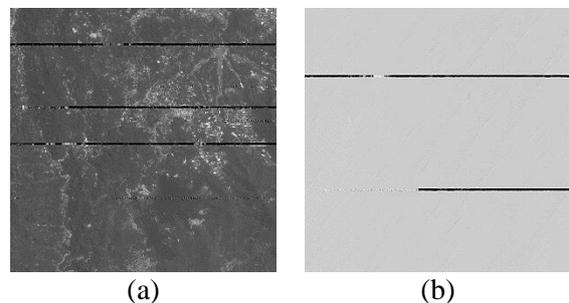
$$\begin{aligned} & \text{Cross Correlation} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{x,y} \frac{(B_i(x,y) - \bar{B}_i)(B_j(x,y) - \bar{B}_j)}{\sigma_{B_i} \sigma_{B_j}} \quad (3) \end{aligned}$$

B_i 及 B_j 為同一組衛星遙測影像中兩個不同波段的衛星遙測影像，其中 $i \neq j$ ， \bar{B}_i 、 \bar{B}_j 和 σ_{B_i} 、 σ_{B_j} 則分別是兩張影像像素值的平均值以及標準差，如此我們就可以透過定義好的閾值去篩選出小於閾值的區塊並標記為破損的區塊。

接著透過我們的演算法修復破損區塊，以下會分別對 mountain 以及 desert 的紅光光譜 (Band 1)、綠光光譜 (Band 2)、藍光光譜 (Band3) 衛星遙測影像進行測試 (圖三)，影像的大小皆為 3000×4200 ，測試的結果將以 *PSNR*、*UIQI* 以及執行時間來表示：

$$UIQI = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2]} \quad (4)$$

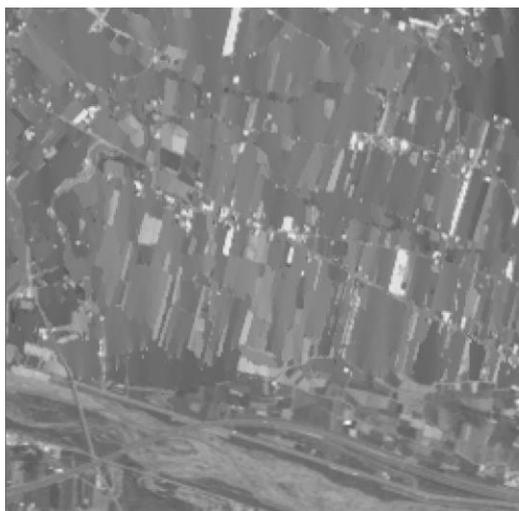
σ_x 、 σ_y 以及 \bar{x} 、 \bar{y} 分別為兩張影像個別的標準差和平均值， σ_{xy} 則為兩張影像的共變異數 (covariance)，*UIQI* 值越接近 1 代表兩張影像越為相似，藉此來分辨修復過後的影像品質。



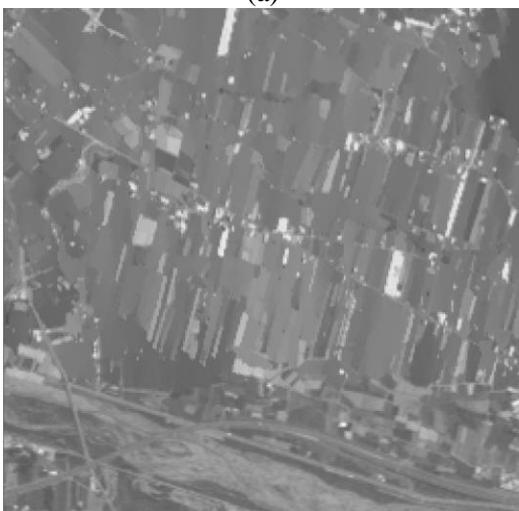
(a)

(b)

圖三：(a)圖和(b)圖分別為 mountain 以及 desert 紅光光譜 (Band 1) 的衛星遙測影像壓縮檔在百萬分之一機率下隨機產生位元錯誤所造成的影像破損。



(a)



(b)

圖四：(a)圖為原始搜尋視窗的結果，(b)圖則是適應性搜尋視窗的結果。

表一：原始搜尋視窗的影像修復結果

Band	NSPI		
	PSNR	UIQI	Time (sec)
Red	30.4992	0.943062	9.337
Green	30.2199	0.935538	9.643
Blue	32.656	0.95454	8.791

表二：適應性搜尋視窗的影像修復結果

Band	ANSPI		
	PSNR	UIQI	Time (sec)
Red	30.7639	0.948022	5.112
Green	30.5034	0.94025	5.359
Blue	32.5587	0.955078	5.293

表一及表二分別為原始搜尋視窗和適應性搜尋視窗執行的結果，根據測試結果的各種量化數值可以看出適應性搜尋視窗有著更好的修復效果並減少許多修復時間，在修復影像本身的分析上，我們發現圖四中(b)圖使用適應性搜尋視窗在修復紋理較多的部分時，因為避免了橫跨不同的地表覆蓋物取值，故可以比(a)

圖使用原始搜尋視窗的結果保留較佳的區塊完整性。

4. 結論與未來發展

在這篇論文中，我們提出一個適應性搜尋視窗改良 NSPI 演算法取得相似像素的方式，使其能適用於 CCSDS 壓縮檔案位元錯誤所造成的大範圍影像破損。在相似像素篩選方面加入像素鄰接性的條件確實能避免橫跨不同的地面覆蓋物的取值，並同時能根據每次搜尋的結果決定是否提早結束搜尋。當然，適應性搜尋視窗演算法和 NSPI 一樣仍需要良好的輔助影像來進行破損影像的修復，故我們希望之後能透過破損影像完好的區域去作更多有效的預測，使得破損影像的修復能更加的完整。

參考文獻

- [1] Consultative Committee for Space Data Systems, "Recommendation for space data systems standard, telemetry channel coding," CCSDS 101.0-B-2, Blue Book, issue 2, Jan. 1987.
- [2] U.S. Geological Survey Earth Resources Observation Systems Data Center, "SLC-off Gap-Filled Products Gap-Fill Algorithm Methodology," 2004.
- [3] Feng Gao, Jeff Masek, Matt Schwaller, and Forrest Hall, "On the Blending of the Landsat and MODIS Surface Reflectance: Predicting Daily Landsat Surface Reflectance," IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing, Vol. 44, No. 8, August 2006.
- [4] Jin Chen, Xiaolin Zhu, James E. Vogelmann, Feng Gao, Suming Jin, "A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images," Remote Sensing of Environment, Vol. 115, No. 4, pp. 1053-1064, Apr. 2011.
- [5] Wei Hu, Manchun Li, Yongxue Liu, Qihao Huang, Kun Mao, "A New Method of Restoring ETM+ SLC-off Images Based on Multi-temporal Images," Geoinformatics, 2011 19th International Conference, pp. 1-4, 2011.
- [6] Xiaolin Zhu, Feng Gao, Desheng Liu, and Jin Chen, "A Modified Neighborhood Similar Pixel Interpolator Approach for Removing Thick Clouds in Landsat Images," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 9, No. 3, May 2012.