

## 應用 X-band 航海雷達測量海岸灘線變遷

黃子庭<sup>1</sup> 莊士賢<sup>2</sup> 吳立中<sup>3</sup> 鄭雅云<sup>1</sup> 陳禹儒<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 國立成功大學海洋科技與事務研究所碩士生

<sup>2</sup> 國立成功大學海洋科技與事務研究所副教授

<sup>3</sup> 國立成功大學近海水文中心助理研究員

<sup>4</sup> 國立成功大學海洋科技與事務研究所博士生

### 摘要

海岸變遷現象目前已普遍且頻繁地發生在臺灣的海岸地區，要瞭解海岸變遷的原因，先要觀察與掌握海岸變化的狀況。然而海岸變遷的範圍又會隨不同時間尺度而變化，因此本研究以岸基 X-band 航海雷達作為海岸變遷的監測工具，發揮其可於定點針對固定空間進行全天候觀測的特性，期望達到近即時與長期掌握大範圍海岸變化狀況之效。本文之研究目的在於建立 X-band 雷達測量海岸灘線之處理程序與分析流程，並且比較所提出之兩種灘線辨識方法之優點及限制，最後利用無人飛行載具拍攝之光學影像證實海岸灘線測繪之可行性。結果顯示本文提出從 X-band 雷達回波平均影像與標準偏差影像進行灘線位置量測之方法，可有效地辨識出不同潮位時的灘線位置，其中更發現雷達回波標準偏差影像量測灘線之方法較不適用於風平浪靜的海況條件下，而雷達回波平均影像量測灘線之方法則不受海況的影響，對於未來長期作業化監測海岸地區之灘線變化及海岸變遷狀況將有非常大的幫助。

關鍵詞：海岸灘線、影像辨識、X-band 雷達、空拍機

## Measurement of Changes in Coastal Shoreline Using X-band Marine Radar

Zih-Ting Huang Laurence Z.H. Chuang\* Li-Chung Wu  
Ya-Yun Cheng Yu-Ru Chen

\* Associate Professor, Institute of Ocean Technology and Marine Affairs, National Cheng Kung University

### ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate shoreline positions from X-band radar echo images. Based on the principle and mechanism of radar echo signals, the time-averaged and standard deviation statistics of radar echo intensities can highlight the different characteristics of the sea and land. Therefore, this study proposes a set of processing procedures for the measurement of shoreline positions using X-band marine radar. The proposed technique integrates an image filter, thresholding, edge detection, and a morphological method, which are used to determine the shoreline positions at the land-water interface. In order to assess the feasibility of the proposed method, the obtained shoreline positions are compared with those in an optical image from an unmanned aerial vehicle (UAV). The advantage of coastal shoreline monitoring with X-band radar is that can provide real-time and uninterrupted observation, even in bad weather conditions. Therefore, the temporal and spatial variations of a shoreline can be automatically and continuously monitored over the long term to help authorities understand coastal changes, facilitating coastal protection and sustainable development in coastal zones.

Keywords: coastal shoreline, image recognition, X-band radar, unmanned aerial vehicle (UAV)

## 一、前言

近年來全球暖化問題導致極端天氣型態出現之頻率與強度增加，同時暖化效應帶來海平面上升(IPCC, 2007)，勢必會增加海岸地區的環境災害。海岸變遷現象目前已普遍且頻繁地發生在臺灣各個海岸地區，為了能提升海岸安全保護，以及達到海岸永續發展的目標，實有必要觀察與掌握海岸變化的狀況。海岸地形侵淤可透過偵測灘線位置來瞭解海岸狀況及變化趨勢，灘線(shoreline)在往昔研究中，一般而言皆定義為「海水和陸地的交界線」(Graham et al., 2003；Gens, 2010)，此一交界線會隨著波浪的進退與潮汐的漲落而改變，具有高度的天然變動性。

早期量測灘線的方式主要是以人工利用 GPS 定位進行現場量測，此方式雖然可以獲得極為精準的灘線資訊，但由於需要耗費大量的人力與時間，無法有效進行大範圍的調查，且受到潮汐變化的影響，灘線的偵測會受到時效性的限制。此外，海岸線變化較劇的情形常發生在海況差的高波浪條件下，這時候往往天氣狀況也不佳，將加劇限制傳統調查技術之運用。

為解決上述所遭遇的困難，X-band 雷達提供了一個良好的選擇，其具有高度機動性、近即時、可進行全天候觀測之諸多優點，非常適合作為海岸變遷的監測手段，即使在天氣不佳狀況下，也能進行遠端監控服務。本研究目的在於建立 X-band 雷達測量海岸灘線之處理程序與分析流程，並且比較所提出之兩種灘線辨識方法之優點及限制，最後再以光學影像驗證航海雷達應用於灘線量測之可行性。

## 二、文獻回顧

綜整往昔 X-band 雷達於海洋領域之應用與研究後發現，大多研究著重於海表面波浪、流場、及水深地形等物理參數之觀測，然而將 X-band 雷達應用在極近岸地區之研究潛力仍不容輕忽，吳等(2013)即成功將雷達觀測技術應用於偵測海岸地區之離岸潛沒沙丘。近年來利用 X-band 雷達進行海岸地區灘線偵測之研究亦陸續被提出，如 Takewaka (2005)即採用 X-band 雷達之時間平均影像(time-averaged image)來判別灘線位置，再由測波儀(wave gauge)量測灘線處的海平面高程，以不同潮位時的

灘線位置及其對應之高程變化來推算潮間帶坡度，並指出海岸在經過高波浪事件侵襲後，雷達具有能夠即時進行觀測以獲取海岸改變後的最新灘線位置與潮間帶坡度之變化的潛力。Bell et al. (2016)則是提出不同於從影像在空間域上之特徵量測水線之方法，而是利用 X-band 雷達在時間域上之潮汐乾濕模式的轉變與雷達像素強度兩個參數之間達最佳匹配之方法，來進行水線偵測，藉由該方法能夠決定相對於潮汐水位的高程，且適用於數月至數年長時間自動監測大型潮間帶區域之變化。國內相關研究則有錢等(2012)利用微波雷達監測灘線位置之方法，使能夠密集、連續、自動地於惡劣天氣下進行大範圍灘線位置之精確監測，其方法是根據雷達電磁波對海面及陸地之不同的回波機制與特性，以標準偏差的方式來區分海面與沙灘，由雷達回波標準偏差影像經過高反差處理、雜訊過濾、及 Canny 邊緣化處理取得灘線位置。

## 三、研究方法

本研究針對灘線監測所採用的設備為 X-band 航海雷達，X-band 雷達原本為船艦導航之設備，經過改裝與系統整合後可作為海岸灘線監測系統的核心硬體元件。為了從海岸地區回波影像序列資料中取出所需的灘線資訊，必須建立一套雷達回波影像時序的分析方法，經由適當的影像處理方法從中求得觀測區域之灘線資訊。

### 3.1 回波平均影像辨識演算法

針對海岸地區之雷達影像序列所呈現的海岸特徵，可將其分類為三類：第一類為在短時間(數秒鐘到數分鐘)內就會移動的特徵(如：海面波紋、移動中的船艦回波等)；第二類為需要較長的時間(數分鐘到數小時)才能偵測到其移動的特徵(如：海岸灘線、蚵架、及油污等)；第三類是幾乎長時間恆定不動的特徵(如：港口防波堤、岸邊結構物等回波)。由於動態目標會干擾本文所要研究的海岸灘線之回波，因此利用時間平均的方式可針對不同類型的影像特徵進行篩選，本研究採用 128 張回波影像來進行時間平均，可將短時間內就會移動之第一類回波特徵濾除。

圖 1 左半部為本文分析雷達回波平均影像以辨識海岸灘線資訊的影像處理流程，先將原始雷達回

波影像經由座標轉換及時間平均的處理，得到雷達回波平均影像，再依序透過擷取感興趣區域、邊緣偵測及細線化之處理，可從雷達回波平均影像中提取出灘線位置。

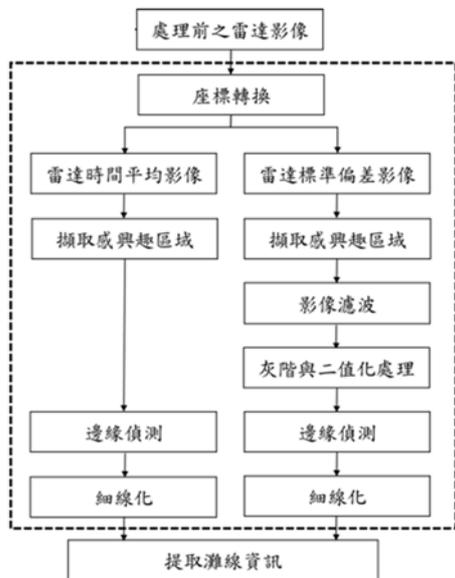


圖 1 X-band 雷達系統應用於海岸灘線辨識之分析流程

### 3.1.1 邊緣偵測

本研究選用 Canny 演算法進行影像物件的邊緣偵測，可經由一個特定標準差的高斯濾波來消除影像中的雜訊，利用遮罩檢測垂直、水平、及斜角方向的邊緣，找尋影像中梯度變化量及方向來判定是否為邊界，再進行邊緣線追蹤來消除雜訊所造成的假邊緣之現象。其追蹤主要是利用兩個門檻值來判斷此像素是否為邊緣，改善了傳統邊緣偵測方法之缺點。Canny 演算法具良好的邊緣偵測效果，可將所有具有強度變化的邊緣找出，且不會找到假邊緣點。

### 3.1.2 細線化

由於利用各種不同邊緣偵測方法提取灘線的時候，有時會使影像邊緣位置擴大，且可能包含過多不必要的資訊，以至於增加計算上的繁雜性，因此數學形態學中的細線化之程序時常被採用，來消除一些多餘的資料，其方法是經由持續不斷的去除外層的像素，直到沒有任何點可以被移去為止。

本研究採用的細線化(thinning)方法，主要是在

下列三項限制條件下，反覆去除物體的邊緣點像素(林, 2007)：端點不可去除；不可以破壞該物體的連結性；避免造成邊緣過度侵蝕的現象。此方法是根據像素點與鄰近像素的關係來決定一個像素是否去除或保留，並以迭代方式一層一層刪除物件邊界之像素，最後保留中心的骨架(skeleton)。

## 3.2 標準偏差影像辨識演算法

海面與陸地的雷達回波強度會隨時間而有不同程度變化，一般來說陸地的回波強度之變異性會較海面為低，因此可以利用雷達回波影像序列之標準偏差(standard deviation)將海面與陸地不同的回波特性突顯出來，藉此能夠找出海面及陸地的交界處，也就是灘線的位置。本研究利用每次觀測間隔 1.43 秒一幅之連續 128 張雷達回波影像，計算每個單位像素強度值隨時間變化之標準偏差值(s)，其公式如下：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

其中  $x_i$  為單位像素在第  $i$  張影像上之強度值； $\bar{x}$  為單位像素之 128 張影像的平均強度值。

本文提出之標準偏差影像辨識演算法流程(圖 1 右半部)，首先將雷達頻譜進行標準偏差影像處理後，會接續以第 3.2.1 節之「影像濾波」及第 3.2.2 節之「灰階與二值化處理」兩個程序進行影像處理，然後再次使用第 3.1.1 節及第 3.1.2 節提及之「邊緣偵測」及「細線化」技術完成灘線偵測。

### 3.2.1 影像濾波

中值濾波器為一種非線性訊號處理技術，且能夠有效抑制雜訊(Justusson, 1981)。中值濾器的基本原理是在矩陣中建立一個奇數的特定視窗，將視窗內的資料進行排序後取出中位數(median)，接著利用此數值取代原本的視窗中心值(central value)，此視窗會依序移動到各數值點上，並重覆上述平滑動作直到所有矩陣中的數值皆處理完畢，參考公式如下：

$$y_{ij} = \text{median}\{x_{i,j-1}, x_{i,j}, x_{i,j+1}, x_{i-1,j}, x_{i,j}, x_{i+1,j}, x_{i,j-1}, x_{i,j}, x_{i,j+1}\} \quad (2)$$

其中  $x_{ij}$  為原本的視窗中心值， $x_{i-1, j-1}$  則為中心值左上角位置的數值；而  $y_{ij}$  為視窗內找出的中位數，並將取代原先的  $x_{ij}$ ，進而去除孤立的雜訊，且仍然能夠保持邊緣的銳利度。中值濾波方法不但可以有效

去除雜訊的干擾，影像的邊緣也能適當地保持而不會使影像過於模糊化，具有模糊雜訊且保留邊緣的特性，且可消除突波的雜訊並降低影像中像素強度的變異性。

### 3.2.2 灰階與二值化處理

為了更有效地從雷達回波標準偏差影像中區分海域與陸域，本研究使用 Otsu 演算法，其原理是根據影像中的灰階值將影像分為目標與背景兩個部分，當目標和背景這兩部分不同類之間具有最大變異量，同類之間具有最小變異量，則代表影像中之目標與背景的差異越大；若目標和背景的類間方差越小，則代表目標與背景越相似，這意味著將像素點分到錯誤的歸類機率會越大，因此 Otsu 法便是藉由計算最大化群間變異數(maximum between class variance)或最小化群內變異數(minimum within class variance)來得到最佳的分割門檻值，以達到二值化之目的(Otsu, 1979)。

## 四、結果與討論

### 4.1 雷達回波標準偏差影像與平均影像量測灘線之比較

以 2017 年 5 月 12 日與 2018 年 3 月 23 日於台南安平商港的雷達觀測資料為例，來展示雷達回波平均影像與標準偏差影像偵測灘線的結果。經由雷達回波平均影像量測灘線之方法所辨識出的灘線與雷達回波平均影像進行套疊，結果如圖 2，顯示本研究所提出之方法能夠成功辨識出濕沙與海面交界處之灘線位置，但在濕沙回波強度較弱處或濕沙與周圍強度值很接近時會出現灘線斷裂的現象。本研究進一步將雷達回波平均影像所辨識出的灘線與現場同步觀測的空拍機光學影像進行比較(如圖 3)，可發現雷達影像所量測的灘線位置與光學影像中目測辨識的灘線位置相近，進而確認航海雷達應用於海岸灘線測繪之可行性。

圖 4 顯示經由雷達回波標準偏差影像量測灘線之流程所辨識出的灘線與雷達回波標準偏差影像套疊的結果。為探討以上兩種方法之優點與限制，將兩種判別灘線之方法所得到的灘線結果進行套疊(如圖 5)，可發現雷達回波平均影像辨識的灘線會有斷裂之現象，雷達回波標準偏差影像辨識的灘線則有很高的連續性。然而，雷達回波標準偏差影像量

測灘線之方法不適用於如圖 4(b)之風平浪靜的海況條件下；相較之下，雷達回波平均影像量測灘線之方法則不受海況的影響，因此選擇雷達回波平均影像應用於灘線辨識較為適當。

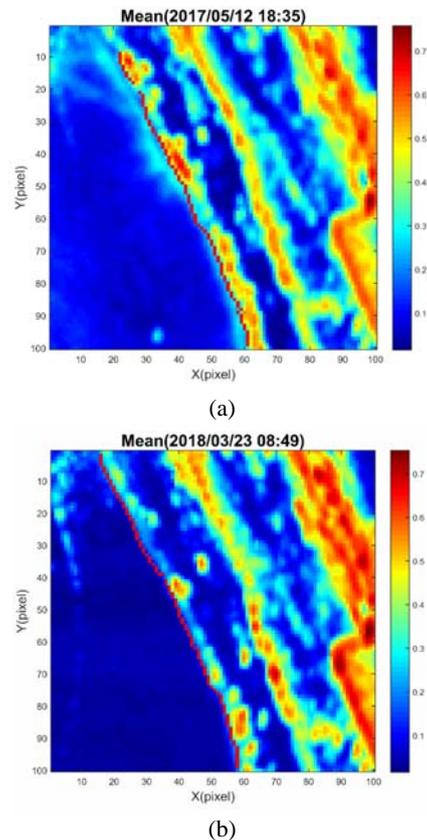


圖 2 雷達量測之灘線與雷達回波平均影像套疊結果：(a)觀測時間為 2017 年 5 月 12 日 18:35 時；(b)觀測時間為 2018 年 3 月 23 日 08:49 時

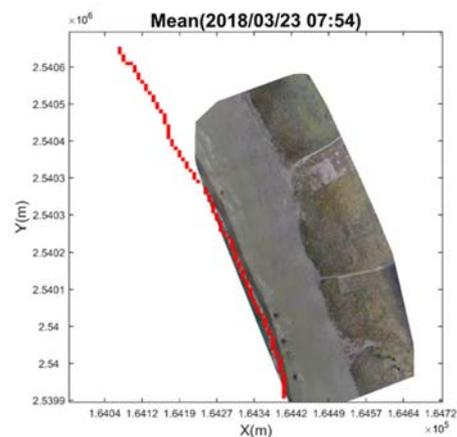
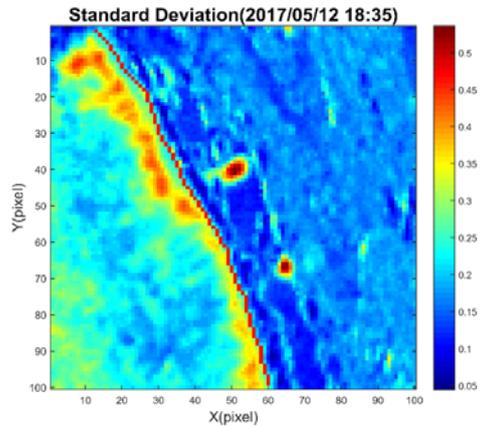
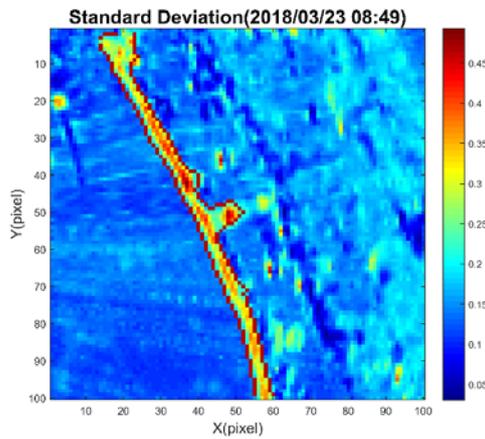


圖 3 2018 年 3 月 23 日 07:54 時雷達回波平均影像量測之灘線與空拍影像套疊之結果

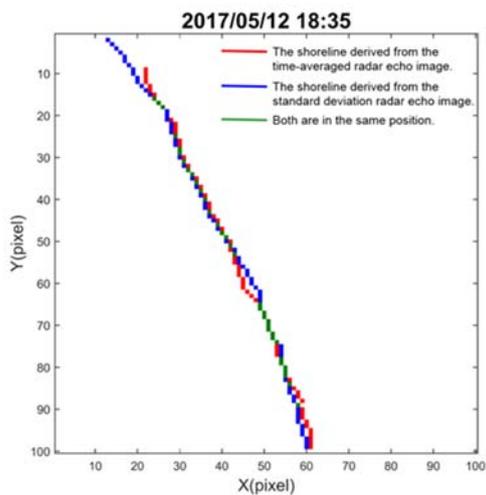


(a)

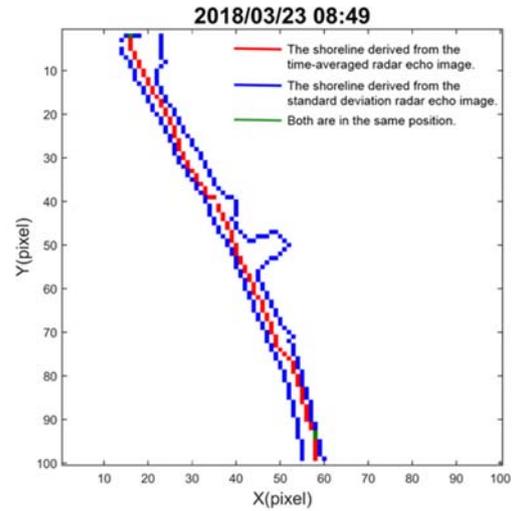


(b)

圖 4 雷達量測之灘線與雷達回波標準偏差影像套疊結果：(a)觀測時間為 2017 年 5 月 12 日 18:35 時；(b)觀測時間為 2018 年 3 月 23 日 08:49 時



(a)



(b)

圖 5 雷達回波標準偏差影像與雷達回波平均影像量測的灘線套疊的結果：

- (a)觀測時間為 2017 年 5 月 12 日 18:35 時；
- (b)觀測時間為 2018 年 3 月 23 日 08:49 時

### 4.3 不同觀測期之灘線比較

為表現上述雷達回波影像量測灘線的方法應用於海岸變遷之實用性，本研究分別於 2017 年至 2018 年期間進行三次現場觀測，選取各觀測期間最接近平均潮位時的雷達回波影像序列進行平均影像的灘線分析，取得三者大約在相同潮位高度條件下的灘線位置(如圖 6)，透過灘線位置變化之比較可發現安平商港南側海岸有季節性灘線變遷的現象。推測颱風期間，岸上沙土會被侵蝕並沉積在近岸水深處，形成離岸潛沒沙丘；然而後續季節性波浪還是會將海底潛丘之沙土推回岸邊，使沙灘逐漸回淤，故此段海岸之灘線變化是呈現動態平衡的穩定狀態。

從圖 6 亦可發現，靠近安平商港南堤處之北方灘線在三次案例期間會有較大的變化，而遠離堤防之南方灘線則較沒有明顯的變化，造成此現象之原因可能與沿岸流作用及突堤效應有關。依海岸地理位置來看，本文研究區域之海岸在全年吹風能量以西南風為優勢的季風作用下(林等, 2006)，以及安平商港防波堤對東北季風的遮蔽效應，會使沿岸漂沙優勢方向為向北(林, 2010)。靠近安平商港南堤之潛沒沙丘會因波浪作用而被回推至岸邊，且因位於突堤之上游位置，因此靠近安平商港防波堤南側處會

較容易堆積淤沙。然而，遠離商港南堤處之南方灘線外的潛沒沙丘則是較容易隨著沿岸流被帶走，因此南部灘線外的潛沒沙丘不會有明顯向岸回推的現象，使得灘線亦不會有明顯的改變。

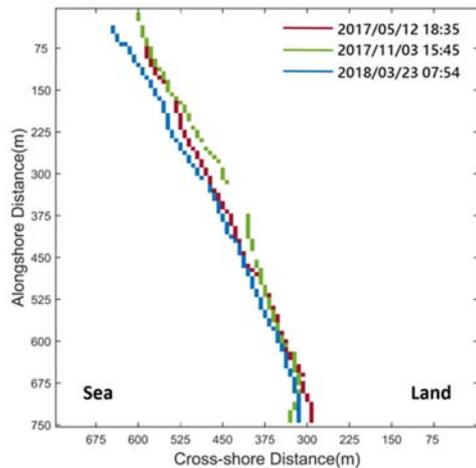


圖 6 三筆不同時間之灘線位置圖

## 五、結論

本研究採用的雷達設備與現有多數船艦所搭載之航海雷達相同，由於此類商用雷達原本皆僅作為船艦導航用途，並未具備灘線監測的功能，為能擴展其應用價值於灘線監測，本文提出從 X-band 雷達回波平均影像與標準偏差影像進行灘線位置量測之方法，可有效地辨識出不同潮位時的灘線位置，其中更發現雷達回波標準偏差影像量測灘線之方法較不適用於風平浪靜的海況條件下，而雷達回波平均影像量測灘線之方法則不受海況的影響，對於未來長期作業化監測海岸地區之灘線變化及海岸變遷狀況將有非常大的幫助。然而，雷達監測海岸灘線的效能會受到雷達架設高度、目標相對於雷達之距離、雨量強度、海況條件(風、波浪、及海流)等影響，這些因素對於灘線偵測之影響程度需要更深入測試與清楚地界定。

## 謝誌

本研究之研究成果，承蒙科技部計畫編號 MOST 106-2221-E-006-120 之經費補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. 林柏青、莊甲子、江玟德 (2006)「底床薄層流輸砂之現場調查研究」，第二十八屆海洋工程研討會論文集。
2. 林柏青 (2010)「臺灣港灣近岸海域漂沙調查研究 (1/4)」，交通部運輸研究所。
3. 林景騰 (2007)「時間序列雷達影像於水線萃取之研究」，國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
4. 吳立中、高家俊、王仲豪、王良生、陳秋份 (2013)「X-band 雷達應用於解析近岸海面水文特徵之研究」，第三十五屆海洋工程研討會論文集。
5. 錢樺、魏世聰、鄭皓元、許朝敏 (2012)「微波雷達與 CCD 影像分析於潮間帶地形測量之應用」，第三十四屆海洋工程研討會論文集。
6. Bell, P. S., Bird, C. O., & Plater, A. J. (2016). A temporal waterline approach to mapping intertidal areas using X-band marine radar. *Coastal Engineering*, 107, 84-101.
7. Gens, R. (2010). Remote sensing of coastlines: detection, extraction and monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 31(7), 1819-1836.
8. Graham, D., Sault, M., & Bailey, C. J. (2003). National Ocean Service shoreline—past, present, and future. *Journal of Coastal Research*, 14-32.
9. IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis*.
10. Justusson, B. I. (1981). Median filtering: Statistical properties. In *Two-Dimensional Digital Signal Processing II* (pp. 161-196). Springer, Berlin, Heidelberg.
11. Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 9(1), 62-66.
12. Takewaka, S. (2005). Measurements of shoreline positions and intertidal foreshore slopes with X-band marine radar system. *Coastal Engineering Journal*, 47(2-3), 91-107.