

使用地面控制點進行立體海況觀測系統之研究

蔡政翰¹ 董東環¹ 黃世任¹ 周于洋¹ 楊一中¹ 滕春慈²

¹ 國立台灣海洋大學 ² 中央氣象局海象中心

摘要

本研究以三台攝影機建構而成的立體海況觀測系統，進行光學影像分析以重建出三維水面時序變化資料。觀測系統在基隆長潭里海域進行現場動態測試，以近海之離岸堤作為地面控制點作為外部校正方式來進行影像之匹配，並使用離岸堤之水尺影像進行灰階值分析得出實際水面變化資料。其影像分析結果所得出之海面波動與實際波動變化接近，其頻譜比較有良好結果，其尖峰週期誤差只有 0.2 秒。但當地面控制點和待測海域之間的距離過遠時，影像匹配結果會因為誤差過大導致結果不甚理想。

關鍵字：立體海況觀測系統、影像匹配、地面控制點

一、研究背景

量測波場特性時，通常是在定點設置波高計或資料浮標(Data Buoy)等儀器來進行觀測，這樣的量測結果有很高的準確性。在波場符合均一性(homogeneous)及遍歷性(ergodic)的假設下，可以用這些測點的量測結果代表一個區域的波場特性。然而，如果在地形、地物變化較大的波場附近進行量測，因為該區波場特性已不符合前提假設，如果依舊以這樣的方式進行推演，則會產生較大的誤差。遙測技術(remote sensing technology)是以儀器不接觸水面的方式，對波場的特性進行量測。由於遙測儀器可以簡便地搭載於航空器上或是於岸上裝設，並不需要限定在特定點上設置，所以並不會阻礙漁事工作和船隻航行，也不易受到海浪的侵襲而損害，在儀器的維護方面較為方便。此外提供大範圍的資料擷取，也是其優點之一。在一次的觀測步驟內，同時量測一個區塊內波場的特性，經過計算後所得的波浪資料即具有『面』的意義，也就較具有代表性。最近，國外三維海況影像觀測技術研究興起[1]，本研究在氣象局的支持下，著手進行立體海況攝影研究[2]。研究目的在於根據國外先進理論建立觀測系統，並探討觀測準確性與適用條件。

二、立體海況觀測系統建置及理論

本研究以三台攝影機拍攝海面之影像，並在基隆長潭里海域進行實際海況之拍攝。立體海況觀測系統建置分為以下程序：一、相機內部校正：為避免校正相機鏡頭拍攝物體時所造成之曲面變形，使用黑白相間之棋盤式校正板將曲面變形之影像修正[3][4]。二、系統外部校正：為了得到三台攝影機與拍攝物的關聯

性，使用校正板或地面控制點(Ground Control Point, GCP)可建立觀測系統與實物系統之關聯[5][6]。三、影像匹配：為了計算出實際水面，匹配多台相機拍攝相同位置影像使成立體影像。四、影像重建：經由影像匹配計算出實際水面，再將實際水面依時序列計算，即可得出海況立體影像時序列。上述為立體海況觀測系統之簡易流程，其詳細過程請參考[7]。

在計算機內部校正與系統外部校正之參數時，本研究使用直接線性轉換法(Direct Linear Transformation, DLT)來求得，DLT 理論為利用攝影機的對各軸的旋轉角、焦距(focal length)以及光學中心(optical center of camera)等攝影機參數，將三維實體海面上空間物理座標(圖 1 之 x, y, z)投影至二維相機影像座標(圖 1 之 u, v)，建立相片座標系統與實物座標系統之間的關係[8]。

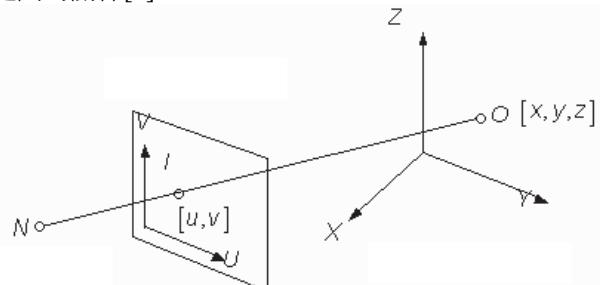


圖1 直接線性轉換法示意圖

在影像匹配過程中，需要使用極線幾何(Epipolar Geometry)理論求出多台攝影機影像像素之位置。極線幾何關係是指當兩台相機觀看同一物體時，若物體在相機上的單點投影(圖 2 之 X_L)在另一台相機上會成為線段投影(圖 2 粗黑線部分)，此線段投影稱之為極線。極線幾何法可將比對搜尋的範圍從二維平面降階成一

維線段上[9]。

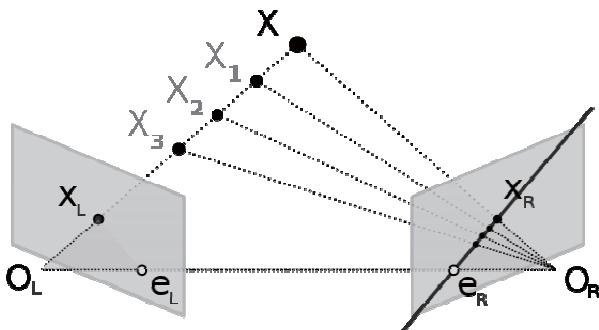


圖2 極線幾何示意圖

在求出極線之後，使用標準化互相關法(Normalized Cross Correlation, NCC)理論，可求得極限上與匹配影像上相符之位置。標準化互相關法的步驟是先於目標影像中設定一個區域為目標視窗，並在待匹配的影像中沿著極線找出與目標視窗相等之匹配區域，稱之為搜尋視窗。當目標視窗與搜尋視窗中相關性最大者為最佳匹配位置，其定義如下：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n^1} \sum_{j=1}^{n^2} (G_t(i, j) - \bar{G}_t)(G_s(i, j) - \bar{G}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n^1} \sum_{j=1}^{n^2} (G_t(i, j) - \bar{G}_t)^2 \sum_{i=1}^{n^1} \sum_{j=1}^{n^2} (G_s(i, j) - \bar{G}_s)^2}}$$

式中 $[i, j]$ 為視窗內像元所在的行、列值， $G_t(i, j)$ 為目標視窗的像元灰度值， $G_s(i, j)$ 為搜尋視窗的像元灰度值， \bar{G}_t 為目標視窗內像元的灰度平均值， \bar{G}_s 為搜尋視窗內像元的灰度平均值。找出最大之 r 值後，即可進行影像匹配與重建工作[10]。

三、研究成果

本研究以立體海況觀測系統在基隆長潭里海域進行實際海況之拍攝[7]，其三台攝影機所得之影像如圖3。並將所拍攝之外提作為地面控制點所計算出來水表面變化如圖4。

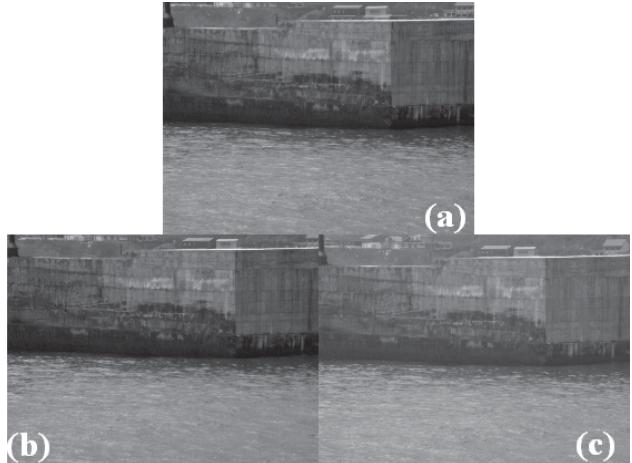


圖3 立體海況觀測系統所拍攝之實際影像(a)上方攝影機(b)左方攝影機(c)右方攝影機所拍攝影像

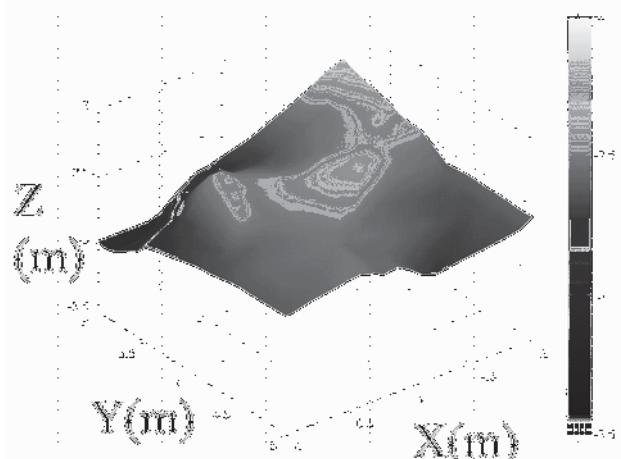


圖4 立體海況觀測系統所重建之水表面高度變化圖，其中X,Y為平面座標，Z為水面高度(公尺)

為了將利用立體影像推算之波浪水位與實測波浪比對，本研究在離岸防波堤上設置水尺如圖5，波浪水位可經觀察其在水尺的位置決定。本研究使用影像之灰階值來計算實際水面變化情形，界定水尺與海平面交界區域後，計算區域內高於固定灰階值之像素總個數。將像素總個數除上由分析判定水尺寬度之像素個數，得出垂直水面變化之像素個數。由於水尺是以50公分為單位的黑白網格，經由網格比例推算圖形像素之實際高度，即可推算水面實際變化程度。

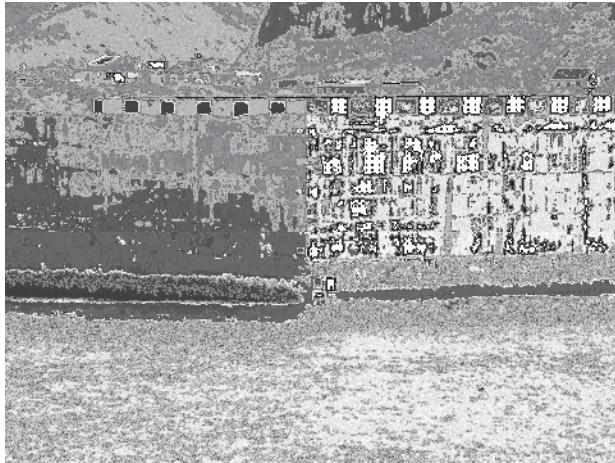


圖5 長潭里海域外堤水尺圖

以不同的灰階值所計算之水位變化亦有所不同，本研究使用灰階值 100 至 150 為範圍，計算實際水面變化。圖 6 為高於不同灰階值的涵蓋範圍，可看出灰階值過大會造成判定像素總數過小，反之灰階值過小會造成判定之總數過大。最佳判定之灰階值會因為光源強度及角度有所變化，此外堤實驗判定灰階值為 125 時較佳。

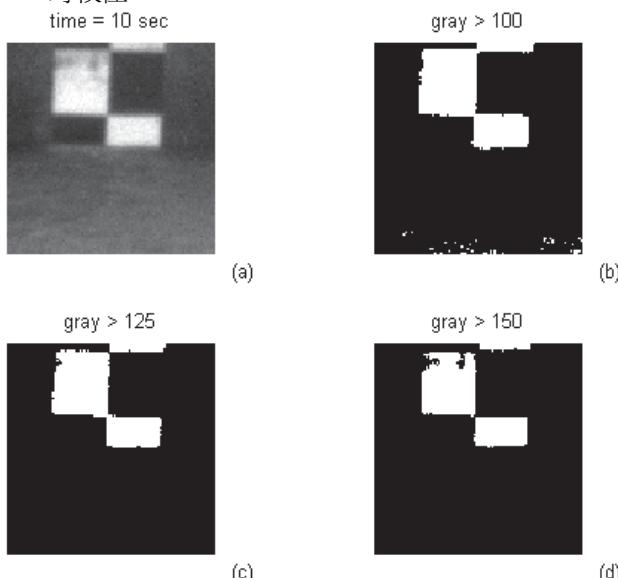


圖6 不同灰階值所涵蓋之像素範圍(白色部分)。(a)原始影像、(b)灰階值大於100、(c)灰階值大於125、(d)灰階值大於150

圖 7 為不同灰階值計算之實際水面時序變化。因為水位時序變化之均值會受到判定像素之總數影響，故利用不同灰階值會造成水位時序變化之均值之差異，但水位時序變化趨勢相當接近。

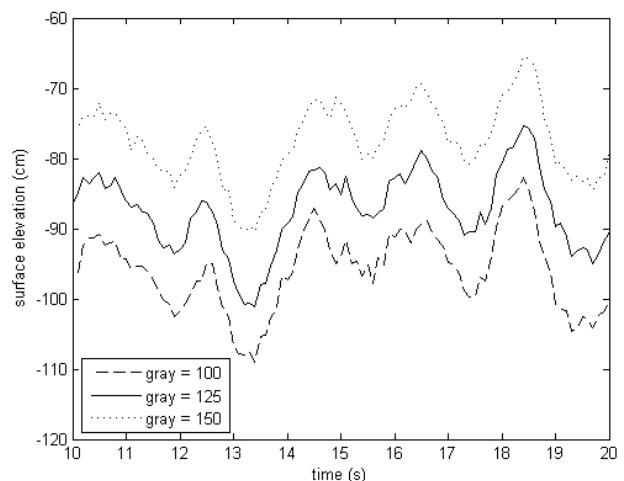


圖7 使用不同灰階值計算之實際水面時序變化，灰階值大於100(線段)、灰階值大於125(實線)以及灰階值大於150(虛線)。

使用不同灰階值判定水位變化，其所推算之示性波高亦會有所差異。圖 8 為使用灰階值 100 至 150 所得出之示性波高，可看出不同灰階值所推算之示性波高相當接近，其值約為 22.6 ± 0.5 cm。

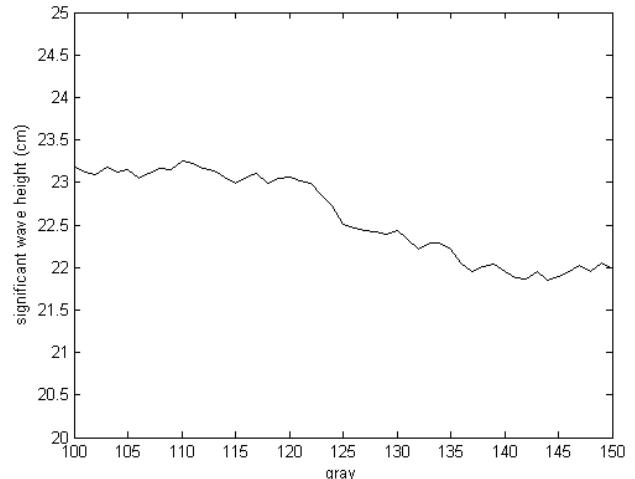


圖8 不同灰階值所推算之示性波高變化圖

使用灰階值 125 所推算出實際水面變化時序與三維影像匹配所得出水面變化時序比較如圖 9，可看出兩者水面變化相當接近。圖 10 為使用灰階值 125 所推算出實際水位頻譜與三維影像匹配所得出水位頻譜，可明顯觀察出頻譜上主能量所在頻率位置相當接近，尖峰週期只有 0.2 秒之誤差。

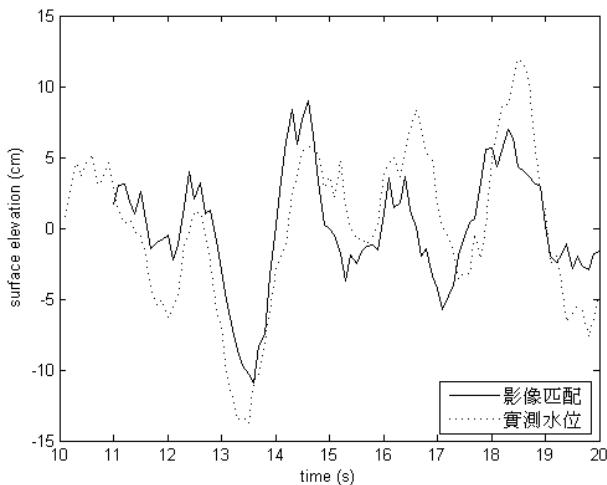


圖9 使用灰階值125得出實際水面變化時序(實線)與
匹配所得出水面變化時序比較圖(虛線)

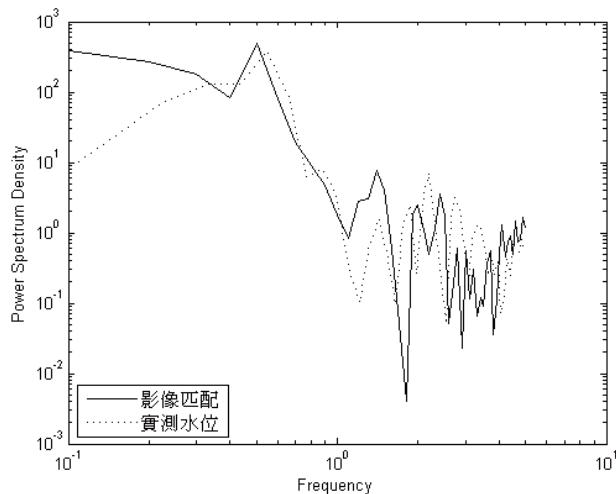


圖10 使用灰階值125得出實際水面變化(實線)與
匹配所得出水面變化(虛線)頻譜比較圖

為進一步了解三維影像所推算出水位與實際水位之關係，將與水尺不同距離之水點如圖 11 不同位置水位之頻譜，其結果如圖 12 看出靠近水堤之水位頻譜與實際水位頻譜較為接近，若遠離水堤則頻譜相差較大。

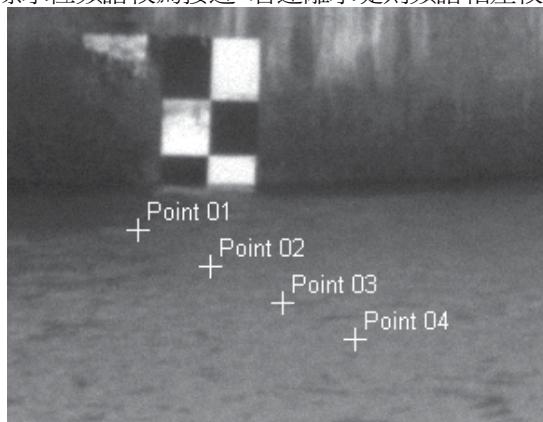


圖11 距離水堤不同長度之取樣位置

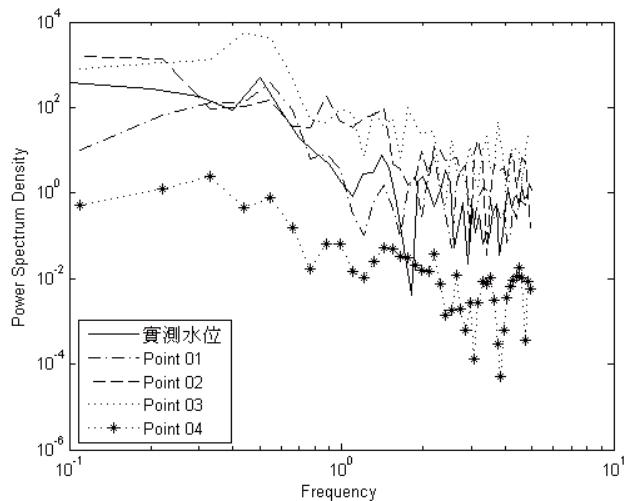


圖12 實際水位變化頻譜與各取點頻譜之比較圖

四、結論

本研究在基隆長潭里海域進行現場動態驗證，針對防波堤前方波浪遠距離觀測的影像匹配之正確性進行探討，觀測目標區約距離立體攝影系統 150-200 公尺。長潭里的測試把地面控制點設在遠方海堤上，或者也可以說把遠方海堤作為外部校正板。

本研究同時還開發了一個影像辨識方法來獲取水面變動量值，當做是現場水位變化真值，長潭里試驗的分析結果顯示水位變化趨勢與頻譜分析結果均與實際海面相當接近，但也發現距離遠方海堤愈遠，匹配結果偏差愈大。此試驗都證實了立體攝影系統的量測結果是正確的，量測誤差也在可以接受的範圍內。

從這現場作業可以證實，本研究所開發的立體影像系統與分析程序可以合理地獲得防波堤附近海域立體影像以及開放海域立體影像。未來的應用可以擴展是防波堤附近波浪量測，如龜山島登島碼頭海況量測；或將立體攝影系統架設在港區燈塔上，可以量測港口航道處海況，提昇操船進港安全；再者，將海岸附近攝影機提升為具有海象觀測能力，譬如海巡署諸多海防站之攝影機。

此技術未來仍須繼續投入提昇改善，雖然多數遭遇問題均已在本研究中解決，但仍有諸多未解之處，譬如系統高度對分析結果的影響等。同時，隨著電腦與攝影機的精進，未來的量測準確性與計算效率都應能顯著提昇，在現有的研發基礎下，未來有機會能夠更掌握更多的技術，對於提昇我國的自主觀測系統研發能力有所助益。

致謝

感謝中央氣象局海象測報中心支持並提供研究經費(MOTC-CWB-99-O-03)。氣象局預報中心李育棋副主任、科技中心周思運博士與程家平主任等人給予很多的建設性建議，在此一併感謝。

參考文獻

- [1] Wanek, J.M. and Wu, C.H., Automated trinocular stereo imaging system for three-dimensional surface wave measurements, Ocean Engineering, Vol. 33, No.5-6, pp.723-747, 2006.
- [2] 蔡政翰、董東璟、黃世任，自動化三維立體影像岸基海象觀測技術開發，中央氣象局研究計畫成果報告，2010
- [3] 蘇嘉平、蔡政翰、高家俊、董東璟、黃世任，立體海況攝影技術研究與開發—I.校正，第31屆海洋工程研討會論文集，729-734頁，2009
- [4] 蘇嘉平、蔡政翰、高家俊、董東璟、黃世任，立體海況攝影技術研究與開發—II.驗證，第31屆海洋工程研討會論文集，735-740頁，2009
- [5] 周于洋，使用光學攝影作測量時之內外部校正，國立台灣海洋大學碩士論文，2011
- [6] 蘇嘉平，立體攝影應用於波浪觀測之初步研究，國立成功大學碩士論文，2009
- [7] 蔡政翰、董東璟、黃世任、周于洋、白儀芬、楊一中、高家俊、滕春慈，立體海況攝影技術研究與開發，天氣分析與預報研討會，101-106頁，2010
- [8] Abdel-Aziz, Y.I. and Karara, H.M., Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close range photogrammetry, Proceedings of the ASP/UI Symposium. Close-Range Photogrammetry, Urbana, IL, pp. 1–18, 1971.
- [9] Holland, K.T., Holman, R.A., Lippmann, T.C., Stanley, J. and Plant, N., Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 81–92, 1997.
- [10] Linder, W., Digital Photogrammetry: Theory and Applications, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2003.