

利用空拍機影像分析海表面流場

李丞哲¹ 董東璟² 吳立中³

¹成功大學水利及海洋工程學系碩士生

²成功大學水利及海洋工程學系副教授

³成功大學近海水文中心助理研究員

摘要

海面連續影像序列提供了時間域以及空間域的海表面特徵資訊，是極具後續發展潛力的海洋環境資料。本研究討論利用空拍機影像所拍攝得到的海面影像序列作為解析海表面特徵之可行性。透過適合的影像分析技術解析出海面波浪於頻率域之能量分布特徵，進而求取出波浪以及海面流場等資訊。影像分析技術包含兩個方法，分別為三維傅立葉轉換法和 PIV 方法。其中，三維傅立葉轉換法是應用頻散關係(dispersion relation)對海洋表面回波進行濾波，疊代計算出表面海流結果，建立了以空拍機影像分析近岸流場之架構，結果再和 PIV 方法進行比較。本研究在鹽水溪口南側的橋頭海灘進行實驗的架設，兩種分析方法顯示結果一致，分析結果在定性上合理，證實方法具有可行性。未來將進一步去與現場觀測資料進行比對驗證，以確定 UAVs 應用在表面流場觀測上的價值。

關鍵詞：空拍機、頻散關係式、三維傅立葉轉換

Video-based estimation of surface currents using UAVs

Cheng-Che Lee¹ Dong-Jiing Doong² Li-Chung Wu³

¹ Master student, Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

² Associate Professor, Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

³ Assistant Research Fellow, Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

ABSTRACT

The continuous image sequence provides characteristics of sea surface in time domain and spatial domain. This study discusses the feasibility of using image sequences captured by UAVs to analysis the feature of sea surface. Through the appropriate image analysis, the energy distribution characteristics of the sea surface waves in the frequency domain are analyzed, then the current data are obtained. Image analysis consists of two methods are used in this study, one is the three-dimensional Fourier transform method and the other is PIV method. The three-dimensional Fourier transform technology is applied to analyse image sequence, and the dispersion relation is used as filter. The surface current information can be estimated from the analysis results. We compared the current data in Qiaotou Beach on the south side of the Yanshuei River obtain from the three-dimensional Fourier transform and PIV. The analysis results were reasonable and the method was proved to be feasible. In the future, we will further compare and verify the field observation data to determine the value of UAVs application in surface flow field observation.

Keywords: UAVs; Dispersion relation; Three-dimensional Fourier transform;

一、前言

台灣四面環海，地狹人稠。海岸地區的土地逐漸受到高度利用與發展，不管是海岸地區的開發或是海岸遊憩安全，均需要面對變化多端的海洋環境，流場的流向與流速更為海洋觀測的研究領域裡不可或缺的項目。許多海洋模式、海洋物理、化學、生態、海洋汙染物質的流向以及災害發生時的救援...等，都需要有詳細的海流資料作為參考，因此如何快速準確地獲得近岸流場是個重要課題。

海流的觀測方法可分為直接觀測(in-situ measurement)與遙測(remote sensing)兩大類。直接觀測是將儀器直接接觸海水以獲得流場資料；遙測則是不與海水接觸，經由光學的影像拍攝或是電磁波的回波間接取得流場資料。遙測的技術可分為光學和微波兩種方法，光學上的方法從早期的航空照片(airborne image)，觀測時間受到日照長短限制，且花費相當昂貴，也容易受到雲層的干擾導致光學影像的資訊不完整。但隨著無人空飛行載具(unmanned aerial vehicles, UAVs)的出現，逐漸解決了過去航空照片所存在的問題，其優點為取得容易且成本較低，且飛行高度較低不易受雲層干擾；機動性高可以克服許多地形上的問題，能在災害發生後第一時間前往現場取得資料。近年來，隨著科技進步，UAVs的功能提升，機上搭載全球定位系統(GPS)、前方避障系統、慣性導航系統(IMU)等儀器以及自動飛行模式和飛行路線與高程設置。讓觀測的資料可透過全球衛星系統進行定位，不再因為人為操作而有所誤差產生，大幅提升拍攝影像之可信度。

1960年代起，開始逐漸有學者投入海洋三維影像分析，以萃取海面波場等資訊。Young (1985)等人從航海用 X-band 雷達資訊中獲取時空合域的海面特徵資訊，也提出了利用三維傅立葉轉換分析海面影像，可擷取海面波譜資訊，此外從線性波理論得知，表面流會影響波浪頻散關係，有都卜勒偏移的現象(Doppler shift)，可藉由偏移量反算出海洋表面流場，開啟利用雷達影像序列求得流場的先河。Streßer(2017)等人提出利用 UAVs 取得河川表面特徵資訊，也利用三維傅立葉(3-D Fourier transformation)轉換分析解析其流場，求得流速。可知光學影像時序列可應用三維傅立葉轉換的技術分析表面波場，也可進一步萃取流速資訊。

本研究將設計一套影像分析方法，利用三維傅立葉轉換分析 UAVs 所拍攝的光學影像時序列(image sequence)，進而計算出海洋近岸的流場性質。此外除了三維傅立葉轉換技術，目前尚有 PIV(Particle Image Velocimetry)方法可應用於海面特徵值點追蹤，同樣可以推算表面流場。本研究將嘗試使用這兩方法分析七股近岸海域之表面流速。分析結果可與七股 X-band 雷達分析所得之表面計算流速進行驗證，以評估兩方法之可行性。

二、理論分析

本研究利用的 UAVs 為 DJI 公司發展的 Phantom4 advanced+產品，搭載 1 英吋 2000 萬畫素的相機，影片大小為 4K，使用正射影像紀錄海面波浪運動的過程。使用三維傅立葉轉換技術與 PIV 質點追蹤技術進行海面流場分析。

三維傅立葉轉換技術主要分析步驟可分為：

- (1) 影像讀取：本文所拍攝的資料為海水面的空拍動態正射影片，而非單張靜態的影像。為了增加資料的處理效率，每秒鐘僅擷取 8 張影像進行分析。
- (2) 灰階轉換：目前發展的影像處理及分析技術，大多使用單色灰階影像作處理。而我們從影片所擷取出的影像為全彩格式，因此在進行其它分析步驟之前，須將影像進行灰階處理。
- (3) 影像時序列轉換：為了從三維度的海面影像資料中求出所需資訊，必須建立一套影像時序列分析方法。影像譜的分析方法可利用三維快速傅立葉轉換(式 1)求得影像時序列的傅立葉係數，為一複數函數，需將其取絕對值平方可得影像譜，此為影像求取波浪特性的重要媒介。

$$S(k_x, k_y, \omega) = \iiint g(x, y, t) \exp(-i(k_x x + k_y y - \omega t)) dt dy dx \quad (1)$$

上式中 $S(k_x, k_y, \omega)$ 為影像譜， $g(x, y, t)$ 代表影像時序列函數，含有時間及空間資訊； k_x, k_y 為影中成分波之波數(wave number)； ω 為影像時序列之角頻率。從上式可以看出，影像時序

列經三維傅立葉後所得到的影像序列譜包含有訊號的波數以及角頻率的資訊。

- (4) 流場分析：波數譜和頻率譜在沒有表面流場的情況下，會滿足線性波理論，其方程式如下

$$\omega_0^2 = g|\vec{k}|\tanh(|\vec{k}|d) \quad (2)$$

ω_0 是角頻率， g 是重力加速度， \vec{k} 是波數向量， d 是水深。而在有流的況下，波數譜和頻率譜會受到流的影響而產生都卜勒偏移，其方程式如下

$$\omega = \omega_0 + \vec{k} \cdot \vec{U} \quad (3)$$

其中 \vec{U} 是表面流，會產生的都卜勒偏移，可利用最小方法求出。在不同流速的情形下波數與角頻率會呈現不同的偏移情況(如圖 1)。

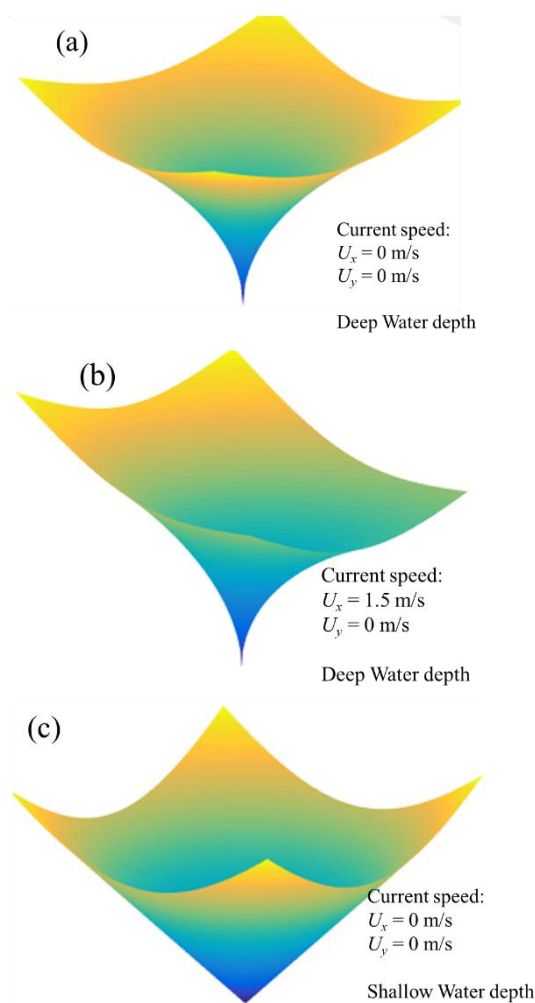


圖 1 流速引致都卜勒偏移時角頻率與波數之關係

另外質點影像量測法(Particle Image Velocimetry, PIV)適用於質點密度較高的流場。參考(林, 2006)其分析的方式主要分為兩個步驟，首先將一個具有特徵的連續影像劃分成若干個子分析區域(interrogation area, IA)，並假設 IA 中的每個質點都有相同的位移方向和速度，且質點間相對位置並無明顯變化。再來便可利用互相關分析法(cross-correlation)計算質點群位移量之相關數，並利用曲線擬合(curve fitting)找出 IA 中質點群位移量之最大相關數，進而求得速度向量。此方法是假設空間域有兩個連續函數 $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ ，則兩函數離散化之互相關函數 $\varphi(m, n)$ 可表為

$$\varphi(m, n) = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y)g(x + m, y + n) \quad (4)$$

其中 M 、 N 表 IA 的尺寸， m 、 n 分別表每個 (x, y) 位置的 x 、 y 方向上的位移量。利用上式重複計算 IA 內每個位置的最大互相關值，求得 m 、 n 的值後，進而計算出該 IA 區域內最有可能之位移量分析整個影像，可得到整個速度向量場。詳細內容可參考(林,

2006)。

三、結果與討論

3.1 實驗數據

本研究中所使用之資料，為 2018 年 10 月 8 日 17:30 在鹽水溪口南側的橋頭海灘所拍攝的空拍影像資料(如圖 2)。影像中的上方為西方，右側為鹽水溪(出海口如紅色箭頭所示)左側陸地則為橋頭海灘。



圖 2 鹽水溪口空拍影像

3.1.1 影像設定

本研究在實驗架設上，選用 DJI 公司發行的

Phantom4 advanced+(如圖 3)。影像設定上，解析度為 4K(3840 x 2160)、影像更新頻率為 30 fps、時間為 5min、高度 300m、影像拍攝範圍約為 384m x 216m、空間解析度約為 10 cm/pixel。



圖 3 DJI Phantom4 advanced+空拍機

3.1.1 影像校正

光線進入鏡頭後會經過數道鏡片再投影到感光元件上成像，而這個過程容易導致所拍攝的影像產生桶狀變形或枕狀變形。故在計算影像之前我們必須將影像進行校正，使得每一個 pixel 所代表的實際長度更為精確，減少誤差的產生。本文所利用的方法便是在影像中拍攝到些許陸地的部分，並在陸地上利用控制板(如圖 4)架設控制點，再利用 GPS 求得每個點的經緯度座標，最後進行外差可以得到每個 pixel 在空間中所代表的實際距離。此方法不僅可以校正影像變形的問題，亦能夠求得空間解析度並找出正北方，對於後續計算流速和流向有極大的幫助。



圖 4 控制板

3.2 計算結果

本文計算結果如圖 5 所示，圖中已經將影像的上方校正為正北方，箭頭表示流速的大小及流向。由結果可以看出最大流速為 0.45m/sec，而右側沿岸的地方流向多與沙灘平行，在左側的部分為鹽水溪出海口故流向由鹽水溪流向外海且在防波堤的左側因為河海的交互關係，固沿著防波堤向內陸緩慢流動。目前分析的結果看來皆有符合定性，初步認為此方法的可行性極高。

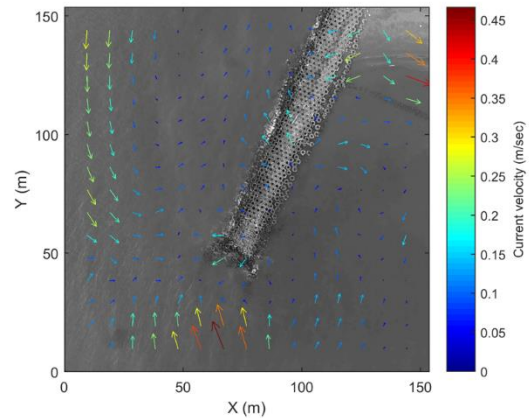


圖 5 流場分析結果

此外本文也使用了 PIV 方法進行分析結果如圖 6 所示，針對鹽水溪出海口流速較明確之區域進行分析並與圖 5 做比較。圖中可以看出，流向也是由上游往出海口流，距離出海口越遠則會受到海流的影响，使流向向南方偏移。然後在靠近防波堤的區域，因為受到近岸地形的影响，計算結果較為差，但仍然可以看出流向是沿著防波堤移動。平均流速約為 0.3m/sec

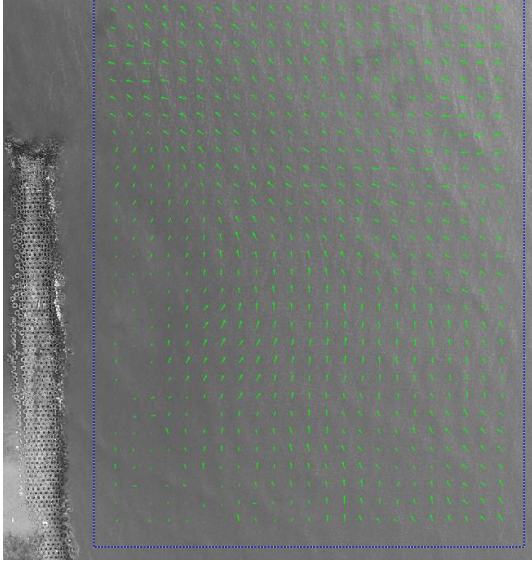


圖 6 PIV 方法流場分析結果

初步分析結果顯示，兩個方法所分析出來的結果合理，流速和流向接近且與定性相符。本文也發現 UAVs 在陸地邊界的分析結果品質較差，在這個區域需要做進一步的討論。最後，由上述兩個方法的結果看出，利用 UAVs 來蒐集海洋表面資料，具有可行性。

四、結論

隨著遙測影像分析技術之進步，透過時空合域影像解析出海面物理特徵的應用已逐漸被海洋界所重視。本文討論利用空拍機所拍攝之海面光學影像序列資料，應用於波浪以及表面海流資訊求取的可能性。透過實測的光學影像做分析，確認了海面波浪能量於頻率域的分布特徵及其與理論波浪分散關係式之間的關係。未來希望能透過與現場資料浮標同步觀測資料的比較，驗證此方法作為海流分析的準確度，進而確認了海面的空拍機光學影像應用於海流計算的可行性。

謝誌

本研究受限於經費考量，能有如此成果實屬不易。感謝盈智學長、禹儒學長、祥煜學長、浩君學妹、縉雙學妹、柏緯學弟、敘民學弟、好友彥翔、盈潔在出外業時不遺餘力的給予我幫助。同時也感謝研究室的全體同仁能給我許多良好的建議，謹致

謝忱。

參考文獻

1. 吳立中、莊士賢、許朝敏、王仲豪、高家俊(2011)「時空合域影像於求取海面波流資訊之應用」，*海洋及水下科技季刊*，第 21 卷，第 1 期，第 29-33 頁。
2. 董東環、蔡政翰、陳盈智、顏志偉、馬名軍(2014)「應用岸基微波雷達量測近岸海流空間分布」，*航測及遙測學刊*，第 18 卷，第 3 期，第 193-204 頁。
3. 金孟良(2013)以微波雷達進行基隆海砍附近海域流場特性觀測研究，國立臺灣海洋大學碩士論文。
4. 林國暉(2006)土石流表面速度影像估算方法之研究，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
5. 王昭賢(2010)影像分析於河川流速之應用，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
6. Christian M. Senet, Joerg Seemann, Stylianos Flampouris, and Friedwart Ziemer (2008) Determination of Bathymetric and Current Maps by the Method DiSC Based on the Analysis of Nautical X-Band Radar Image Sequences of the Sea Surface (November 2007) In: *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, VOL.46, NO. 8, 2267-2279
7. Michael Streßer, Ruben Carrasco, and Jochen Horstmann (2017) Video-Based Estimation of Surface Currents Using a Low-Cost Quadcopter In: *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, VOL. 14, NO. 11, 2027-2031
8. Young, I.R., Rosenthal, W., Ziemer, F., 1985. A three-dimensional analysis of marine radar images for the determination of ocean wave directionality and surface currents. *J. Geophys. Res.* 90, 1049-1059.