

水位影像量測技術視窗化之研究

Windowing of the Water Level Image Measuring Techniques

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
教授

王傳益

Chuan-Yi Wang

樹德科技大學
休閒與觀光管理系
教授

楊翰宗*

Han-Chung Yang

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
碩士生

何璟浩

Ching-Hao Ho

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
碩士生

林長葵

Chang-Kuei Lin

摘要

本研究目的在於探討水位影像量測技術視窗介面化，藉由高解析度相機進行水位影像拍攝，並選用 Matlab 作為水位影像處理技術之開發程式語言，利用其影像處理與辨識技術優勢辨識水位；其後結合 Visual Basic 所撰寫成的視窗化介面程式整合成多功能軟體，並藉由滑鼠點擊影像辨識之水位線得出即時之水位。相較於傳統之水位計具有價廉及影像可視化之優勢。研究結果顯示，於模擬夜間降雨且為動態水流情況下，其水位平均絕對誤差百分比(MAPE)均小於 1.50%。復於新店溪中游處之粗坑壩進行現地試驗，將視窗化介面程式判讀所得水位值與當地壓力式水位計進行比較，結果顯示平均絕對誤差百分比(MAPE)皆小於 1.00%。整體而言，影像辨識視窗化介面技術應用於現地即時動態水位量測應具可行性，且其量測所得水位資料具可靠度。

關鍵詞：視窗化，Matlab，影像處理，Visual Basic。

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the water level image measuring techniques with windowing interface by using high-resolution camera. Matlab programming language was selected for image processing and recognition. Identification code of water level combines windowing of the multifunctional integrated interface software with Visual Basic. The current water level can be obtained by clicking the mouse at the water level line. The image processing and recognition technologies provide visualization of real-time water level, which is cheaper than the traditional water gauge. To

*通訊作者，樹德科技大學休閒與觀光管理系教授，82445 高雄市燕巢區橫山路 59 號，hcyang@stu.edu.tw。

consider a severe environmental condition with a rainfall under dynamic flow during the nighttime, the mean absolute percentage errors (MAPE) are less than 1.50%. Furthermore, we analyzed the image recognition of water level with field tests at Tsu-Keng dam in the middle reaches of the Xin-Dian Creek. The mean absolute percentage error (MAPE) of water level are less than 1.00% between the values by the image recognition system and those by the local pressure water gauge. Overall, windowing interface image recognition system with real-time dynamic technology is feasible and reliable for field water level measurements.

Keywords: Windowing, Matlab, Image processing, Visual Basic.

一、前言

水文資料的蒐集與紀錄當中，水位資料往往也是不可缺少的重要數據之一。水位量測資料除了可用以建立水位-流量關係曲線之外，亦是農田水利、水資源規劃、設計及運用、評估等之重要依據；而其它工程建設，如：橋梁、港口、給水、排水等亦需應用水位資料作為規劃與設計使用 (Yang and Chen, 2013)。在台灣常用的水位計，可分為接觸式及非接觸式兩種 (Yang *et al.*, 2014)。接觸式水位計又以浮筒式與壓力式最為常用 (顏沛華 & 顏銘佑, 1993; 林財富, 2013)，浮筒式水位計其量測原理是利用浮筒隨水面之升降而浮動，並藉由引線帶動水位計轉輪，而達成水位之自動記錄；而壓力式水位計之測定原理則是藉由水位之變動引起水底壓力之變化，經由轉換而產生水位變化之記錄。至於非接觸式水位計則以超音波與雷達波水位計最為常用 (褚坤翰 & 林俐玲, 2012; 王筱雯等, 2013)，超音波水位計利用超音波反射的原理，將儀器吊掛設置於支架上，藉由超音波脈動傳擴信號時間，測定儀器到水面間的距離；而雷達波水位計則是以天線發射連續的雷達波信號，並藉由天線接收反射迴響來計算水位。

目前上述該些儀器設備於使用上各有其優點與缺點，例如：當主深槽改變時，各水位計的架設位置就需要調整；此外，接觸式水位計容易受到豪大雨時，河道的沖刷與淤積等因素，使設

備常出現損毀的問題；非接觸式水位計則容易受到夏日太陽高溫照射影響量測數值，亦常受到不明原因干擾，例如：鳥群飛過水位計下方及車輛經過引起的橋面震動等，故常需對異常數值以人為判斷方式加以濾除。然而，該些水位計於量測記錄上，所得到的資料皆為數值資料，並無現場實際影像畫面資料，故無法得知現場情形，對於判斷異常狀況而言，往往無法準確得知其原因。

因此本研究為了改善水位量測缺乏影像資料、設備易受損壞、量測數值正確性不易判斷，及設備造價昂貴等問題，改以建立一套即時傳送影像，並藉由影像辨識與分析方法，以及利用視窗化的優勢，讓水位量測技術得以改良，並達到可視化的效果，同時具有水位量測的精確度與速度，而這個方法由於只需於現場安裝水尺，並且將攝影器材架設於具有遮蔽之處，故亦能減少儀器設備採購之費用。表 1 彙整上述該些儀器特性比較結果，以供水位量測時，儀器架設選擇之參考。

二、影像處理與視窗化介面

依據本研究之目的，在於利用影像進行水位之量測，因而須擷取到可供辨識與分析的影像，而分析前的首要步驟為去除雜訊，然後再對影像進行分析處理，其包含：進行灰階轉換、二值化，以及邊緣偵測等，而該些步驟的處理均是透過 Matlab 軟體進行計算，最後再藉由視窗化之介面讀取影像，並獲得影像之水位數值，其步驟如圖 1

表 1 水位觀測儀器特性比較

儀器名稱	浮筒式	壓力式	雷達波式	超音波式	影像分析式
安裝/維護難易度	須設置靜水井(管)、引水道硬體工程複雜。	需安裝於渠底，安裝、維護、更換較困難。	安裝時需絕對水平，且須定期進行校準。	須定期進行校準，易受到外在環境因素影響。	需安裝水尺，且於遮蔽物裡架設攝影器材。觀測時則需有充足光源。
接觸/非接觸	接觸式	接觸式	非接觸式	非接觸式	非接觸式
故障率	高	高	低	低	低
儀器維修費	低	高	高	高	低
數據顯示	有	有	有	有	有
可視化	無	無	無	無	有

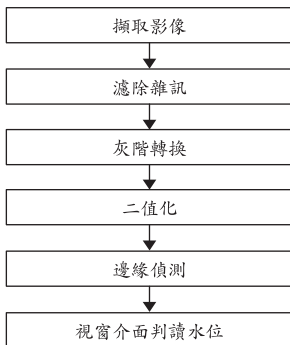


圖 1 影像辨識水位之流程

所示。Matlab 成為重要的影像處理工具，其中一個理由便是 Matlab 中有幾套簡單易用的程式語言與出色的圖形處理功能，可以支援特定工作的執行，以下則針對各步驟之基本原理與技術加以說明。

2.1 濾除雜訊

經由各項攝影器材所拍攝而擷取的影像，其包含著過量的雜訊存在於欲辨識的影像資料中，而該些雜訊將會造成辨識結果極有可能產生錯誤，所以應該將雜訊影響減到最低，因而消除雜訊是影像前處理的重要工作(郭天穎等，2014；Cui *et al.*, 2013)。一幅雜訊影像($h(x, y)$)之影像內容包含：原始影像($f(x, y)$)與隨機數位訊號雜訊($q(x, y)$)，即：

$$h(x, y) = f(x, y) + q(x, y) \dots\dots\dots (1)$$

為了將原始影像($f(x, y)$)中的雜訊去除，因此可將不同的雜訊影像經平均化以達到濾除雜訊的功

能，即

$$f(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f_i(x, y) \dots\dots\dots (2)$$

則

$$E\{h(x, y)\} = f(x, y) \dots\dots\dots (3)$$

式中 E 表示 $h(x, y)$ 的期望值。中值濾波(median filtering)係每個像素的灰階用該像素鄰域上灰階的中間值來代替，而不用平均值來代替，其優點為容易消去由突峰造成的雜訊(極端像素)，且不會使邊緣模糊。若該像素鄰域上灰階的平均值為 M，標準差為 S，假若此像素的灰階在 $(M - S)$ 與 $(M + S)$ 範圍內，則保持其原來的值，反之，假若此像素的灰階在 $(M - S)$ 與 $(M + S)$ 的範圍外，再以平均值替代(施中揚，2006)。利用此方法可以有效改善其光源所造成誤差，其原因在於灰階值選擇範圍較廣，較能達到原圖樣貌，因此本研究選擇使用中值濾波為雜訊去除使用的方法，其為一種去除影像雜訊的簡易且有效的方法。研究中使用 Matlab 程式語言之 filter2 與 medfilt2 兩函數進行分析，函數 filter2 用於處理像素高頻率部分，而函數 medfilt2 為中位數濾波運算，輸出值為所有像素的中位數，依此去除雜訊的干擾。

2.2 灰階轉換

為了能夠避免影像中物體的失真，且便於影像辨識與分析運算，將影像作灰階轉換則可達到此目的。灰階(gray-scale)轉換是將彩色影像轉換成灰階影像(Rubin *et al.*, 2009)，灰階影像則是將

R(Red)、G(Green)、B(Blue)三種顏色分量轉換成亮度值介於 0~255 間的黑色與白色，且只有亮度上的變化，來表示該像素介於 0~255 之間的程度，而 0 代表最暗的黑色，255 則代表最亮的白色。於本研究中，遂利用 Matlab 程式語言之灰階轉換的指令 `rgb2gray` 將原本彩色影像經處理成灰階圖，既能使每張圖片的灰階值固定，又能降低其他程式碼所導致影像錯誤訊息。

2.3 像二值化

為了有效降低影像的資訊量及圖形所代表的複雜度，通常會將所要處理的影像進行二值化(魏浚紘等，2012；高美琴等，2013)。二值化可以將背景與前景分離出來，增加影像處理的速度與效能。二值化又稱灰階分割(gray-scale segmentation)，亦即設定一個灰階值做為臨界值，而當影像本身灰階值大於該臨界值時，則令其為亮點；反之，灰階值低於臨界值時，則令其為暗點。對影像而言，選擇適當的臨界值對後續的影像處理具有關鍵性的影響。Matlab 在處理影向上有強大的功能，因此其內建二值化指令 `im2bw` 便能簡單快速地使二值化影像顯示，且其門檻值介於 0~1 之間。

2.4 邊緣偵測

邊緣是兩個不同區域之間的連接像素的集合，也是不同的幾何物件最明顯的區隔，因此邊緣就成為影像當中各幾何物件重要的特徵之一。邊緣偵測主要在找出物體與背景的分界(Kang *et al.*, 2012)。本研究利用形態梯度之邊緣偵測法使圖片做侵蝕與膨脹的相減，以求出邊緣的效果。Laplacian 法是一種全方向性的邊緣強化處理方法。利用 Laplacian 法為影像做侵蝕與膨脹的相減，即可求出邊緣的效果。因此，當灰階影像進行 Laplacian 方法計算完成後，就會產生邊緣之結果。Matlab 程式語言於形態梯度邊緣偵測的程式碼，遂利用函數 `imdilate` 指令對圖像進行膨脹，及 `imerode` 指令進行侵蝕，再利用函數 `imsubtract` 進行膨脹及侵蝕兩圖像的相減，以呈現出水位及水尺刻度的輪廓，以利

辨識水位高。

2.5 Visual Basic 視窗化介面

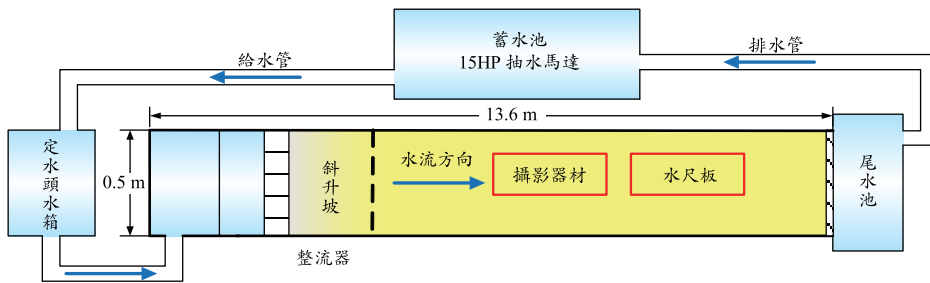
微軟公司開發的 Visual basic 簡稱(VB)，其擁有圖形化使用者介面(Graphical User Interface，簡稱 GUI)和快速應用程式開發(Rapid Application Development，簡稱 RAD)系統，因此程式設計師可以輕鬆的使用 VB 所提供的元件快速建立一個所需的應用程式(黃榮梅，2005；黃玉枝 & 郭文中，2012)。本研究即以 VB 建立水位影像量測技術之視窗化介面，以便使用者能透過該視窗化之影像同時瞭解水位量測時現地之概況。該視窗化介面藉由已建立的座標系統與真實水位做換算，並編寫程式後，即可同時顯示水位量測時之影像與當前準確之水位數值，如圖 2 所示。建立座標系統的目的在於標定物件或輸出物(圖形)的位置，而 VB 的座標系統是以螢幕的左上角為原點(0,0)，而 X 值向右遞增，Y 值向下遞增。圖形裝置介面(Graphical Device Interface，簡稱 GDI)使用三個座標空間，分別為：(1)全局座標(world coordinate，或稱世界座標)、(2)頁面座標(page coordinate)，以及 (3)裝置座標(device coordinate)。全局座標用以製作特定實物的座標，而頁面座標則是指繪圖介面(例如：表單或控制項)上使用的座標系統，至於裝置座標則是圖形輸出裝置用座標，也就是使用者進行繪圖後所顯示的實體裝置(例如：螢幕)所使用的座標。研究中的座標系統與真實水位的轉換作業，係由全局座標須轉換成頁面座標，然後頁面座標轉換為裝置座標。

三、試驗設計

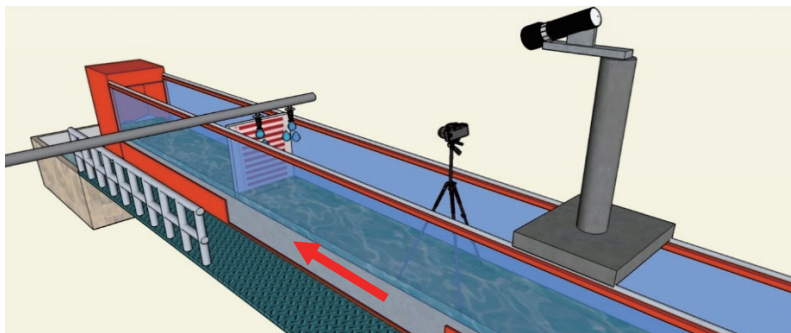
為了瞭解透過影像辨識量測水位之技術可行性，研究中分別以室內與野外實地之水尺水位為影像辨識處理探討之對象。於室內研究中，規劃設計以模擬現場河川水流流動且降雨的各種情形做為拍攝之場景，而研究中所使用之試驗渠槽為中型循環玻璃渠槽，並搭配降雨設備與夜間照明等設備進行試驗影像之拍攝，如圖 3 所示。一般相機在夜間無光源的環境下拍攝後的影像



圖 2 水位量測視窗化介面



(a) 頂視圖 (top view)



(b) 3D 立體圖

圖 3 動態水流試驗渠槽配置圖

大部分皆無法成像，而為克服夜間現地拍攝問題，故於試驗中增加夜間照明設備，以投射光源在欲拍攝的水尺上，再利用攝影機持續不斷的拍照攝影，並將檔案回傳即時處理，便能判讀出目

前水位。為求模擬現地降雨情況，以確認水位辨識系統於動態水流及降雨狀況下之可行性，本研究之試驗遂於渠槽上方安裝市售可調式灑水設備，此灑水噴頭之灑水量，分別為 80、150、260

表 2 夜間之動態水流與降雨試驗配置條件

試驗組別	流量 (cms)	降雨 (mm/hr)
N1	0.003	80
N2	0.003	150
N3	0.003	260
N4	0.008	80
N5	0.008	150
N6	0.008	260
N7	0.012	80
N8	0.012	150
N9	0.012	260

(mm/hr)，再配合循環玻璃渠槽流量的改變，以模擬現地於不同降雨強度情況下之水位變化情況，遂規劃相關室內之試驗條件，如表 2 所示。

為瞭解將該水位量測技術視窗化介面之現地實際應用可行性，研究中選取位於新北市新店區新店溪中游屈尺里附近之粗坑壩，亦稱屈尺壩，即南勢溪與北勢溪合流後下游約 1.5 公里之處的水壩，距上游桂山電廠約 2 公里。粗坑壩原設計用以提供小粗坑發電廠發電。現今為配合直潭堰蓄水，以供應大台北地區的民生用水，並調節翡翠水庫與桂山電廠發電的尾水，以及將河水引到下游的粗坑電廠發電，而該水壩堰堤下游之水域即為新店燕子湖。此粗坑壩於 1909 年完工，屬混凝土重力壩攔河堰，壩高 6.8 公尺、壩長 160 公尺、壩頂寬 4 公尺、壩基寬 16 公尺，其中溢洪道為自由溢流堰。本研究中利用高解析度 Canon SX60 HS 類單眼相機(具有 1610 萬像素與 65 倍光學變焦鏡頭)拍攝該壩之水尺，其拍攝位置選定於壩台旁之空地，可明顯拍攝水尺樣貌(如圖 4 所示)，並與該地自計式壓力式水位計實測水位做相互比較，以檢算其水位量測誤差。由於粗坑壩上游緊鄰翡翠水庫，逢豪大雨時上游水庫需調節性放水，若將視窗化介面影像辨識技術應用於此，可讓下游民眾搭配影像可視化的優點快速瞭解水位變化，提前做好相關防範措施。

四、結果分析

4.1 動態水流影像分析

於試驗渠槽進行動態水流與模擬降雨試驗



圖 4 現場拍攝水尺照片

之水位觀測時，配合不同流量之條件記錄各組試驗之水位變化，並與超音波水位計量測結果進行比對分析。分析指標為效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)與平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)，其關係式分別如(4)式與(5)式所示。

4.1.1 效率係數(陳儒賢等，2009)

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (H_i - \hat{H}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2} \dots\dots\dots (4)$$

式中： N 為量測數據個數； H_i 為水位之實測值(以超音波水位計量測值代表真值)； \hat{H}_i 為水位之推估值(以影像分析視窗化介面量測值代表之)； \bar{H} 為實測水位之平均值。當 CE 值愈趨近 1，表示推估值與實測值愈密合，即精確度愈高。

4.1.2 平均絕對誤差百分比(許盈松等，2008)

$$MAPE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{H_i - \hat{H}_i}{H_i} \right| \right) \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

當 MAPE 值愈趨近 0，表示推估值與實測值愈密合，即精確度愈高。

依據影像分析方法流程，遂以試驗配置條件 N8(亦即降雨 150 mm 與流量 0.012 cms)為例，說明各階段影像處理結果，如圖 5 所示。圖 5(a)為夜間進行動態水流與模擬降雨試驗所拍攝的原始影像，而圖 5(b)則是對原始影像進行濾除多餘雜訊之結果，接著圖 5(c)乃將濾除雜訊後的影像再進行灰階轉換，而經由灰階轉換後之圖像，顏

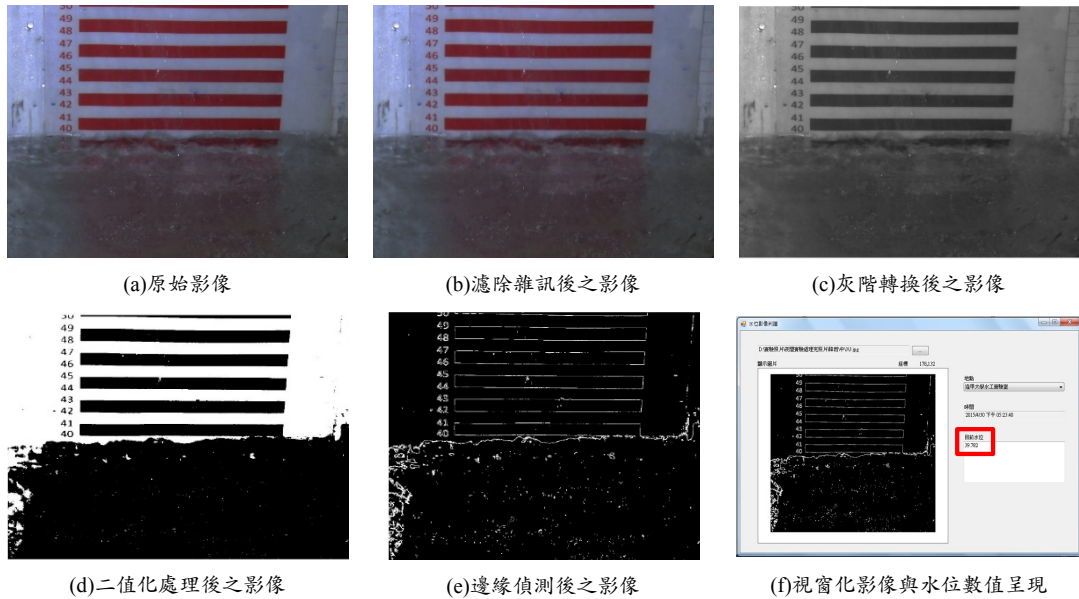


圖 5 試驗 N8 組之影像處理分析結果

表 3 夜間動態水流與降雨試驗水位比較

降雨 (mm/hr)	80		150		260	
	超音波水位計 (cm)	影像辨識水位 (cm)	超音波水位計 (cm)	影像辨識水位 (cm)	超音波水位計 (cm)	影像辨識水位 (cm)
0.003	33.89	34.20	34.10	33.64	34.23	33.92
0.008	37.12	37.74	37.26	37.83	37.50	37.18
0.012	39.29	38.57	39.74	39.78	39.52	39.04
CE	0.932		0.966		0.970	
MAPE	1.47%		0.99%		0.99%	

色由原本的彩色變為灰階圖像，更進一步圖 5(d) 則為對灰階影像再進行二值化處理，而處理過後的圖像很明顯呈現非黑即白的情形，最後依據二值化後的圖像進行邊緣偵測的結果，則如圖 5(e) 所示，而該圖亦明顯的將圖像中的邊緣輪廓與水位線顯示出來。圖 5(f) 則顯示利用視窗化介面將邊緣偵測後的影像顯示於操作介面，以及呈現目前水位數值的情形。就該試驗條件量測所得之水位數值為 39.782 cm 與超音波水位計所得之水位數值 39.74 cm 相互比較，顯示其量測誤差非常小。此結果亦顯示，雖然於夜間與降雨期間拍攝影像，然而只要經由光源的照射，使水尺能清楚的被拍攝，即可經由本研究所提之影像辨識與分析方法，最後於視窗化介面即時顯示量測時之水

位數值。

表 3 為其它各組夜間動態水流加降雨試驗之分析結果比較情形，而由結果顯示，影像辨識之水位與超音波水位計量測之水位差異，其依降雨強度由低到高之效率係數(CE)分別為 0.932、0.966 及 0.970，均相當趨近於 1，而平均絕對誤差百分比(MAPE)值分別為 1.47%、0.99% 及 0.99%，而該些結果均顯示，即時於夜間或於降雨期間拍攝影像，本研究所提之水位影像量測技術視窗化均能準確獲得量測之水位數值。

4.2 現地試驗影像分析

將室內試驗研究成果應用於現地測試，期能將視窗化介面影像辨識技術應用於現地之水位

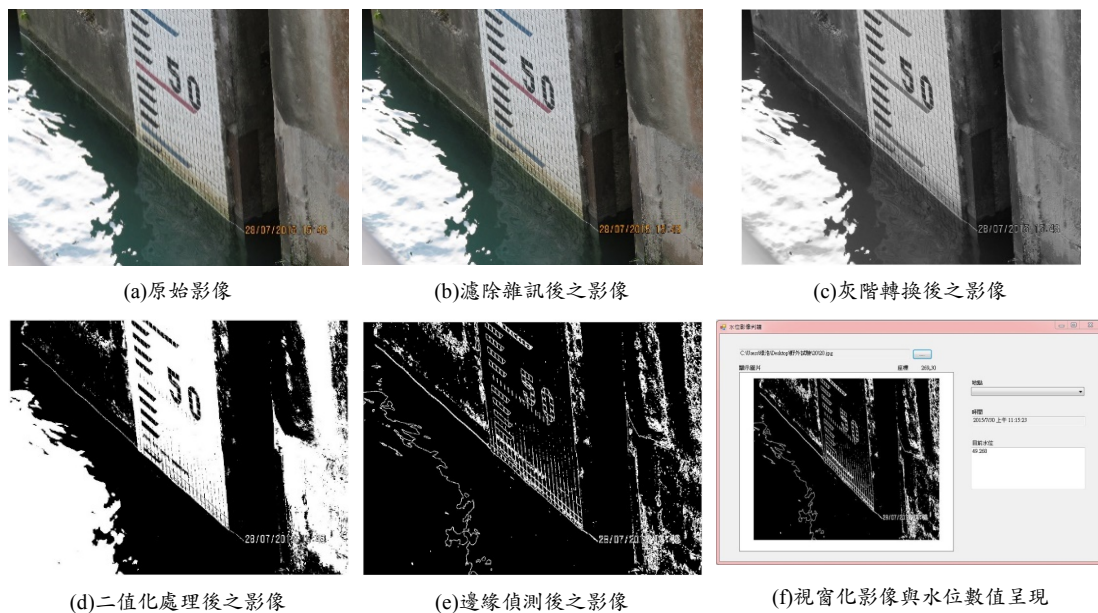


圖 6 粗坑壩現地試驗之影像處理分析結果

表 4 新店溪粗坑壩影像辨識水位與壓力式水位計實測水位比較

水位 \ 時間	0800	0820	0840	0900	0920	0940	1000	1020	1040	1050	1100	1110	1120
壓力式水位計(m)	48.67	48.65	48.63	48.61	48.60	48.59	48.58	48.56	48.55	48.61	48.78	49.01	49.18
影像辨識水位(m)	48.71	48.62	48.62	48.62	48.62	48.62	48.52	48.52	48.52	48.62	48.71	48.99	49.18
水位 \ 時間	1130	1140	1200	1350	1400	1530	1540	1600	1620	1700	1720	1820	1850
壓力式水位計(m)	49.24	49.26	49.27	49.28	49.27	49.28	49.28	49.28	49.28	49.29	49.29	49.28	49.12
影像辨識水位(m)	49.27	49.27	49.27	49.27	49.27	49.27	49.27	49.27	49.27	49.27	49.27	49.27	49.08
水位效率係數(CE) = 0.992													
水位平均絕對誤差百分比(MAPE) = 0.04%													

量測。現地試驗地點於新店溪中游之粗坑壩進行，時間為 2015 年 07 月 28 日當天以長時間持續拍攝拍照方式進行，並與當地之壓力式水位計水位資料進行比較，驗證視窗化介面影像辨識水位技術於現地水位量測之可行性。

同樣依據影像分析方法流程，遂以 2015 年 07 月 28 日，時間為 15:40 左右的影像為例，說明各階段影像處理結果，如圖 6 所示。圖 6(a)為

於粗坑壩之水尺旁進行拍攝之影像，而由此可知該相機所拍攝的照片可清楚地呈現水尺原始樣貌，進而進行影像濾除多餘雜訊之處理工作，而結果則如圖 6(b)所示，再則依序進行灰階轉換、二值化處理，以及邊緣偵測，而各階段之影像處理結果，分別如圖 6(c)至圖 6(e)所示。最後圖 6(f)則顯示利用視窗化介面將邊緣偵測後的影像顯示於操作介面，以及呈現目前水位數值的情形。

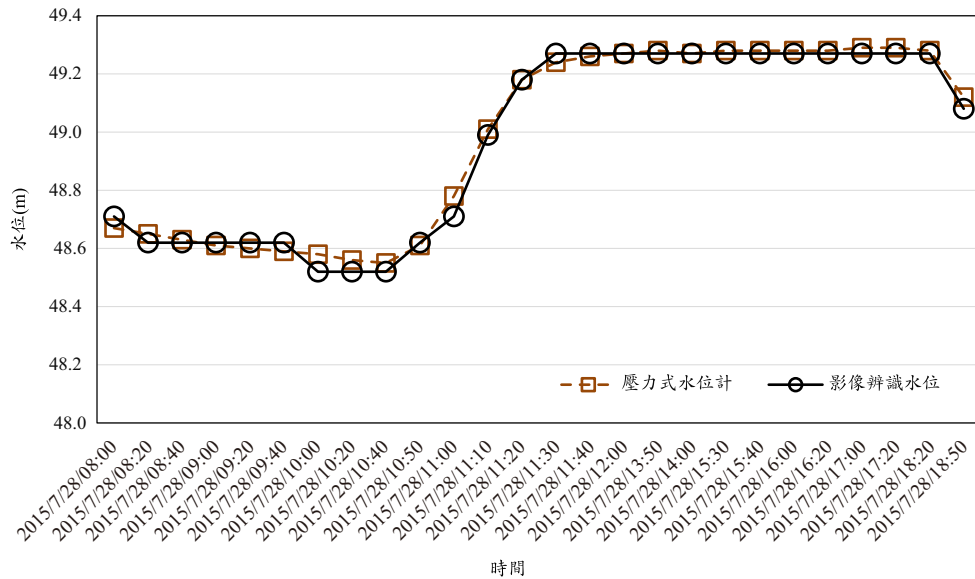


圖 7 粗坑壩影像辨識水位與壓力式水位計實測水位歷線比較

就該試驗條件量測所得之水位數值為 49.268 cm，而與壓力式水位計所得之水位數值 49.28 cm 相互比較，顯示其量測誤差亦非常小。

表 4 彙整 2015 年 07 月 28 日上午 8 點至晚上 6 點 50 分之間，水位量測比較結果。量測期間的水位變動範圍從 48.52 m 至 48.72 m，變化幅度為 0.75 m。經不同時段之水位辨識結果可知，效率係數為 0.992，可說是非常接近 1，而其平均絕對誤差百分比為 0.04%，亦顯示誤差值非常低。將影像辨識所得水位與當地壓力式水位計測得之水位結果繪如圖 7 所示，而由此圖可知，2015 年 7 月 28 日新店溪粗坑壩於上午 10 點 40 分由於上游翡翠水庫調節水量水位開始上漲，並約於中午 12 點後水位持續維持不變約為 49.28 m，並於下午 6 點 20 分水位開始下降。此圖 7 之結果亦顯示以視窗化介面進行影像辨識水位與當地壓力式水位計實測水位之水位變化趨勢具一致性，且誤差值均非常小。故本研究視窗化介面影像辨識水位應用於現地亦具可行性。

五、結論

本研究經由 Matlab 與 Visual Basic 兩套軟體結合應用，由 Matlab 進行影像分析的前置處理階

段，可將模糊不清的影像重新分析結合以顯示出水尺與水位線；再由 Visual Basic 程式語言所撰寫之視窗化介面將其整合，最終藉由視窗化介面讀取影像並判讀其水位。研究結果顯示，於考量惡劣之環境條件下，模擬夜間動態水流外加降雨之試驗，其總的平均 CE 值約為 0.945，而其總的平均絕對誤差百分比則約為 1.15%，顯示本研究所建立之方法能於不同環境條件下，以影像辨識分析方法獲得精確的水位數值。將室內試驗所得結果應用於野外新店溪中游粗坑壩進行水位觀測，並與當地壓力式水位計進行水位數值比較，而所得之水位值變化趨勢具一致性，且 CE 值為 0.992，而其平均絕對誤差百分比為 0.04%，故亦顯示影像處理分析之水位數值誤差非常低。此結果亦顯示視窗化介面辨識水位應用於現地具有其可行性。本研究之影像辨識結合視窗化介面判讀水位，相較於傳統之水位計具有價廉及影像可視化之優勢，而其水位量測準確度亦約略相當。然而，本研究方法於使用上最大的限制即是攝影光源的問題，但其只要藉由外部光源或以紅外線方式補強，即可克服之。另外，攝影器材的防潮亦是利用本研究方法時所需注意之處，因而於實際現場安裝上可

至於橋下或堤防處之防潮室之處。

參考文獻

1. 王筱雯、郭偉丞、張家豪：「七家灣溪拆壩後之河道演變模式」，中華水土保持學報，第 44 卷第 4 期，pp. 271-281, 2013。
2. 林財富：「雷達波水位計自動化預警系統」，三聯技術，第 88 卷，pp. 27-31, 2013。
3. 施中揚：「印花布的自動化影像分析系統」，國立台灣科技大學高分子工程研究所博士論文，2006。
4. 高美琴、毋立芳、李建德、楊士霆：「利用紋理相關性對 OCT 影像進行血管分割」，信號處理，第 29 卷第 4 期，pp. 527-531, 2013。
5. 許盈松、郭雅熾、陳昶憲、葉昭憲、王國樑：「台灣地區生活用水量推估研究」，農業工程學報，第 55 卷第 4 期，pp. 33-43, 2008。
6. 褚坤翰、林俐玲：「台灣地區土石流災害預防機制探討」，中華水土保持學報，第 44 卷第 1 期，pp. 27-36, 2012。
7. 郭天穎、卓宥亦、邱建璋：「利用多尺度區域雜訊不一致性之影像拼接偵測」，理工研究國際期刊，第 4 卷第 2 期，pp. 1-4, 2014。
8. 黃玉枝、郭文中：「農產業之 RFID 行動產銷系統：系統分析與設計」，國立虎尾科技大學學報，第 30 卷第 3 期，pp. 13-23, 2012。
9. 黃榮梅：「利用 VB 開發 CAI 課件」，寧波職業技術學院學報，第 9 卷第 5 期，pp. 55-57, 2005。
10. 陳儒賢、陳清田、潘衍谷、林典蔚：「結合自組織映射圖網路與輻狀基底函數網路於地下水水位預測之研究」，農業工程學報，第 55 卷第 2 期，pp. 42-55, 2009。
11. 顏沛華、顏銘佑：「浮筒式水位計之改良與應用」，農工研討會論文集，第 9-17 頁，1993。
12. 魏浚紘、吳守從、黃韋傑、謝依達、鍾玉龍、陳朝圳：「影像二值化在空載光達影像樹冠孔隙分類上之應用」，地理學報，第 66 卷，pp. 53-66, 2012。
13. Cui, J., Wang, D., & Qin, X. (2013). CT Image Median Filtering Algorithm Based on Different Shapes of Window. *Dianzi Keji- Electronic Science and Technology*, 26(2), 63-67.
14. Kang, S., Yoo, H. Y., & Lee, K. (2012). Open source remote sensing: introspect and prospect. *Journal of Marine Science and Technology*, 20(6), 613-617.
15. Rubin, L. R., Lackey, W. L., Kennedy, F. A., & Stephenson, R. B. (2009). Using color and grayscale images to teach histology to color-deficient medical students. *Anatomical Sciences Education*, 2(2), 84-88.
16. Yang, H. C., & Chen, Y. C. (2013). Discharge estimation of the Shin-Yuan Canal using indirect method. *Paddy and Water Environment*, 11(1-4), 217-225.
17. Yang, H. C., Wang, C. Y., & Yang, J. X. (2014). Applying image recording and identification for measuring water stages to prevent flood hazards. *Natural Hazards*, 74(2), 737-754.

收稿日期：民國 104 年 8 月 27 日

修正日期：民國 104 年 12 月 21 日

接受日期：民國 105 年 2 月 2 日