

影像辨識計算金瓜寮溪魚類數目之研究

Using Pattern Recognition in Counting Fish Numbers in Jin-Gua-Liao River

國立台灣大學
生物環境系統工程學研究所
教授

張文亮

Wen-lian Chang

國立台灣大學
生物環境系統工程學研究所
研究助理

蕭友晉*

Yo-jin Shiau

國立台灣大學
生物環境系統工程學研究所
碩士班研究生

虞淨卉

Ching-hui Yu

摘要

本研究以台北縣金瓜寮溪為試驗場址，計算水域中魚類數量，調查其水文水質等物理化學因子，藉由影像辨識技術的觀察評估魚群數目，探討魚隻數量的估算受水質水文之影響。

研究結果發現，在五個採樣點中，魚隻的數量變化隨著水溫升高以及溶氧的降低而下降。由於採樣點流速都在亞臨界流範圍，因此魚隻數量與流速並無明顯相關性，然而影像辨識的正確率隨著採樣點的流速增加而漸漸降低，正確率依序為：50.40%、61.50%、50.80%、50.40%及 48.40%。

金瓜寮溪的水文水質狀況幾乎沒有明顯變化，而魚類魚通量(單位時間單位體積魚隻數量)變化卻在水域中呈現不規則的數量變化，數據依序為：0.482 隻/秒 · m³、0.850 隻/秒 · m³、1.586 隻/秒 · m³、4.023 隻/秒 · m³ 及 2.155 隻/秒 · m³。

關鍵詞：影像辨識，生物監測。

ABSTRACT

The experiment counts the fish number by using the image process technology and investigates the water quality, physical factors and chemical factors, in the nature river in Jin-Gua-Liao in Taipei County. The experiment discusses the relationship between the fish number and the water quality.

The experiment result shows that, in the five sampling spots, the fish numbers decreased with the water temperature increased or the Dissolved Oxygen (DO) decreased. The velocity in the five spots are all below the range of Sub-critical Flow, so the fish

*通訊作者，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所研究助理，10617 台北市大安區羅斯福路四段 1 號，r93622008@ntu.edu.tw

number do not have significant relationship with the velocity in this experiment. However, the accuracy of the image recognition system decreased when the velocity increased as follows: 50.40%, 61.50%, 50.80%, 50.40% and 48.40%.

There is no significant change of the water quality in different places of the river. However, the fish numbers in different places are irregular. The results are: 0.482 fish/sec · m³, 0.850 fish/sec · m³, 1.586 fish/sec · m³, 4.023 fish/sec · m³ and 2.155 fish/sec · m³.

Keywords: Image processing, Ecological monitoring.

一、緒論

估算魚類生態族群的方式可以分為非目視法及目視法兩類。其中非目視法包含：手釣(hook and line)、刺網(gill)、魚籠(baited fish trap)、標示放流(mark and recapture)、炸魚(explosives)、毒魚(ichthyoids)、電魚(electro-fishing)、聲納(sonar)等；目視法則包含：手寫(hand writing)、錄音(audio recording device)、錄影(video device)、照相(photography)等(邵等, 1993)。

然而非目視法的魚隻估算，較具有侵入性，對於保育類生物族群數量的調查可能傷及生物，傳統目視法又耗費時間與人力，因此有待進一步改良，以解決舊式方法在應用上的瓶頸與困難。

機器視覺在近年來應用愈趨廣泛，加上資訊科技的進步，使得人類以計算的速度大幅提升，成為可以期待的困難方案。在生態研究上，利用「照片辨識法」來鑑別座頭鯨(*Megaptera novaeangliae*)。利用對座頭鯨尾鰭拍攝建立資料庫，替代傳統捕捉法的標記物，作為追蹤族群移動的方式，以及了解他們在同一棲息地所停留的時間(Katona *et al.*, 1979、Katona, 1989)。阿拉斯加州東南沿岸，同樣也曾以照片辨識法加上林肯-彼特森指數對其區域內之座頭鯨進行豐量推估(Baker *et al.*, 1992)。

以一容器裝載魚苗，並以穩定光源拍攝魚苗垂直正攝影影像，結果在沒有任何外在環境光線干擾的設計下，電腦計算的魚隻數量準確率可以達到 99% (林宜弘, 1995)。利用類神經網路建立

魚類數量計算辨識系統，用來計算室內養殖池的魚苗數量，在沒有魚隻重疊的狀況下最佳的辨識效果可以達到 94% (Newbury *et al.*, 1995)。在室內實驗利用養殖池進行靜態的魚隻數量計算，將池底劃以網格後，隨機選取部份網格計算之後，並使用方區取樣法推估全部魚隻總數，正確率可以達到 97%至 99% (Chatain *et al.*, 1996)。

也有學者使用攝影機對金魚(*Cyprinus Auratus*)進行行為監測。利用雙鏡頭架設在魚缸頂端與側面，對魚缸中的金魚以影像處理系統得知其移動路徑與方向(Kato *et al.*, 1996)。此外，當體色不易辨識的斑馬魚(*Danio rerio*)彼此之間重疊率為 49.6%，辨識率是 85.3% (Kato *et al.*, 2004)。

利用混合高斯模式進行魚隻數量辨識，在室內以一水族魚缸，拍攝其三種不同魚群密度的動態影像，並且另外設計三種不同的水體濁度進行辨識，以了解水體環境改變對於系統正確率的辨識影響程度。每種實驗一段影片為十分鐘影像，共計三段，用以計算其平均正確率。結果發現對於不同體長大小的魚隻，混合高斯模式辨識正確率皆能維持於 60%以上。而水中濁度超過 15 NTU，魚隻的辨識正確率會低於 50% (蕭、張, 2006)。

溪流魚類的棲息環境，主要被河川水量，水質，以及河川型態三個特點所影響，除了水量豐富水質良好以外，河川棲地的多樣性提供魚類自由活動的屏障，使魚隻不易滅絕(葉, 1997)。由於生物選擇棲息往往會選擇在與其體表有相似色彩的環境之下，藉由保護色的機制來避免掠食者的威脅，而保護色的機制卻也導致影像辨識較

易產生誤差，因此魚類的影像辨識大多都在實驗室進行，尚無野外現地影像辨識的前人文獻。故本研究的目的，在使用影像辨識法於實際的野外應用，並了解水域魚類數量與環境因子關係。

二、理論與模式

電子計算機自 1970 年後開始發展，使得人類計算事物的速度大幅提升，透過機器替代人為分類辨識技術日趨成熟，對於人類的影像識別以及物體移動的追蹤，透過統計理論建立許多辨識模型。1986 年灰階的影像處理理論被提出，透過此方法，可以加強灰階影像輪廓的清晰度 (Sternberg, 1986)。

後有學者將欲辨識物體的電腦影像建立其色階分布(color distribution)，之後利用此色階分布比較所有未知影像上每個“像素點”(pixel)，即可以將所欲辨識的物體影像與背景分離出來，並更進一步作為追蹤定位物體影像的方式 (Hunke and Waivel, 1994)。

當物體受光線影響為固定沒有色階差異的狀況下，單一的高斯分布就足夠對物體建立模式，但是在室外的自然環境中，背景常受到光影變化、雲層影響等因素造成忽亮忽暗的色階差異，故將多個高斯分布混合同時用以建立背景影像，較易逼近所欲辨識的結果。因此在室外的環境，將背景影像建立成混合高斯分布模式，可以更有效將前景背景分離，追蹤前景物體移動變化 (Stauffer and Grimson, 2000)。

假設空間中每個像素點的 RGB (Red, Green, Blue) 色階隨時間的變化可以視為多個高斯分布之合成，則依據混合高斯分布理論，對於任意時間點 $t+1$ ，任意像素點的色階數值之機率，可表示如下：

$$P(\mathbf{x}_{t+1}) = \sum_{i=1}^n \omega_{i,t} G_{i,t}(\mathbf{x}_{t+1}, \boldsymbol{\mu}_{i,t}, \boldsymbol{\Sigma}_{i,t}) \dots\dots\dots (1)$$

其中

- $P(\mathbf{x}_{t+1})$ 為時間點 $t+1$ 像素點 \mathbf{x}_{t+1} 所成之機率
- \mathbf{x}_{t+1} 為時間點 $t+1$ 之像素點數值
- $\omega_{i,t}$ 為時間點 $t+1$ 第 i 個高斯函數之權重係數

- $\boldsymbol{\mu}_{i,t}$ 為時間點 $t+1$ 第 i 個高斯函數之平均值
- $\boldsymbol{\Sigma}_{i,t}$ 為時間點 $t+1$ 第 i 個高斯函數之相關係數
- $G_{i,t}(\mathbf{x}_{t+1}, \boldsymbol{\mu}_{i,t}, \boldsymbol{\Sigma}_{i,t})$ 為第 i 個高斯分布的機率密度函數。

為了簡化電腦運算負擔，假設高斯分布之共分散量為零，且變異量皆相等，即 $\boldsymbol{\Sigma}_i = \sigma_{pp}^2 \mathbf{I}$ (Stauffer and Grimson, 1999)。

其中 σ_{pp}^2 為高斯分布之平均變異量，即：

$$\sigma_{pp}^2 = \frac{1}{3} [\sigma_{rr}^2 + \sigma_{gg}^2 + \sigma_{bb}^2] \dots\dots\dots (2)$$

自然環境隨著時間改變，背景的颜色也會因此漸漸變化，因此混合高斯分布所建立的背景模式需要隨時間改變依照一定的權重 $\omega_{i,t}$ 進行修正。此權重的計算公式如下：

$$\omega_{i,t+1} = (1-\alpha)\omega_{i,t} + \alpha(M_{i,t}) \dots\dots\dots (3)$$

其中 α 為學習速率，用來修正背景高斯函數，使其能適應隨時間變化的光影。

$M_{i,t}$ 為樣本與母體高斯分布關聯之布林值 (Boolean)。當 $M_{i,t} = 1$ ，即表示 \mathbf{x}_{t+1} 屬於背景第 i 個高斯分布為真，反之 \mathbf{x}_{t+1} 不屬於背景第 i 個高斯分布時 $M_{i,t} = 0$ 。

判斷任何一個未知的像素點是否屬於背景影像所呈現的色階分佈，可將此未知像素點判斷 \mathbf{x}_{t+1} 分別代入混合高斯模式中，比較其是否超過所假設的超越機率。當任意點 \mathbf{x}_t 機率大於所設定之超越機率時，則表示此像素點不屬於背景分佈 (Duda *et al.*, 2001)。

經由混合高斯模式將前景與背景影像分離之後，仍然會有部分的像素點被誤判為前景，因而產生如鹽狀般的點狀雜訊 (salt noise)。此類型的雜點可以藉由 Opening (Erosion + Dilation) 與 Closing (Dilation + Erosion) 過程將此雜訊除去 (Rafael, 2002)。

經由混合高斯模式處理後的黑白影像，假設白色像素點數值為 1，黑色像素點數值為 0。則將任一像素點數值假設 A_0 ，其周圍像素點數值由左上至右下假設為 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_8$ 。則 Erosion 及 Dilation 的演算公式表示如下：

表 1 採樣點經緯度表

	第一採樣點	第二採樣點	第三採樣點	第四採樣點	第五採樣點
緯度	24°52'46.09"	24°52'52.07"	24°52'50.05"	24°52'52.07"	24°53'6.76"
經度	121°38'59.24"	121°38'51.68"	121°38'53.46"	121°39'50.00"	121°39'30.00"

Erosion :

$$S = \sum_0^8 A_i \begin{cases} \text{IF } S < 9 \Rightarrow B_0 = 0 \\ \text{IF } S = 9 \Rightarrow B_0 = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

Dilation :

$$S = \sum_0^8 A_i \begin{cases} \text{IF } S = 0 \Rightarrow B_0 = 0 \\ \text{IF } S > 0 \Rightarrow B_0 = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

其中

S 為 A₀ 至 A₈ 的總和。

B₀ 為經過 Erosion 或 Dilation 後的原像素點 A₀ 之布林值。

經由演算之後呈現背景為黑色，前景為白色的二位元影像，利用長寬為 19*11、14*8、9*5 三種大小不同的方框在影像中依序移動框選，當框選區之白色比例介於 60% 至 80%，則認定方框框選到魚隻，藉此計算出影像中的魚隻數量。

室外實驗隨環境狀況而會有不同的可視距離，使用辨識所得隻數較無法比較不同採樣點的差異，因此將計算所得隻數以單位時間單位體積流量表示，計算方法如下：

$$N' = \frac{360N}{\theta\pi r^2 dT}$$

其中

- N' 為單位時間單位體積流量(隻/秒 m³)
- N 為電腦辨識出來原始魚隻數量(隻)
- θ 為水下攝影機可視角，在此為 42°
- r 為水下攝影機可視距離(m)
- d 為拍攝地點溪流水深(m)，T 為時間(秒)。

影像正確率的推估，利用相同影像經由人工觀測計算每秒的魚隻數量並計算其通量後，與電腦計算的每秒魚隻通量各別比較後取其平均，如下公式：



圖 1 金瓜寮溪位置圖

$$\frac{\sum_{t=1}^i \frac{N'_{1,t}}{N'_{2,t}}}{t} \times 100\%$$

其中

- N'_{1,t} 為電腦計算出的魚隻通量
- N'_{2,t} 為人工計算的魚隻通量
- t' 為辨識影片總秒數。

三、實驗與方法

實驗場地位於台北縣坪林鄉金瓜寮溪，其地理位置位於北緯 24 度 54 分，東經 121 度 40 分，為北勢溪主要支流之一。其總流域面積為 24.2 平方公里，全長為 15.2 公里，年平均流量為 1.99 立方公尺/每秒。

實驗為了瞭解自然溪流中辨識的魚隻數量與溪流物理化學因子變化的相關性，於 2008 年 4 月 8 日上午進行一次性採樣。從上游至下游選定五個採樣點進行影像辨識，採樣地點座標如表 1，採樣相對位置如圖 1。

影像的取得經由水下攝影鏡頭裝置在特製 T 桿中央位置，兩邊放置 50 瓦、色溫 4700K 的鹵素補光燈並將攝影器材固定於河床底部，再將鏡頭經由訊號線連接數位攝影機 SONY DCR-TRV60 進行監看與錄影。一個實驗點錄製六分鐘影像。攝影時同時避免攝影鏡頭由水下仰視拍攝到的水面，以減少經陽光照射產生的光影變化造成辨識誤差的可能。

所得的原始影片經由個人電腦以 USB 線影像擷取為 320X240，每秒 30 畫格的 AVI 影像，影像編碼格式採用 Intel Indeo® Vedio R3.2。水波紋、水花太過明顯或是鏡頭晃動的部份則直接經由影像剪輯軟體剪除。最後保留每個實驗 60 秒影像片段進行電腦辨識。辨識系統採用之軟硬體，中央處理器為 Intel Dual Core E8400，4GB 記憶體空間，作業系統為 Windows XP with SP2，程式撰寫語言為 Visual Basic 6.0。

為了計算隨時間變化魚隻數量的改變狀況，因此在計算每個畫格影像中的魚隻數量同時，也紀錄魚隻座標作為比較。當下一畫格魚隻座標與上個畫格魚隻座標小於 30 個像素點，則認定下個畫格的魚隻座標屬於上個畫格的魚隻位移。用此方式以辨識是否有新的魚隻游入畫面。

當魚隻游出影像邊界外，其位置座標不馬上刪除，而保留 20 個畫格，若在 20 個畫格內魚隻又從消失點附近游入，則依舊認定此魚隻與 20 個畫格前的魚隻相同，總數不予累計，以減低魚隻來回游動造成系統重覆計算的可能。

每個採樣點的辨識影片另以人工觀察計算

魚隻數量、體長、魚種、以及出現時間作為背景資訊。此外，每個採樣點同時進行水文水質資料的背景調查，包含流速、水深、濁度等實驗檢測，用以分析比較不同水文水質狀況下，混合高斯模式辨識正確率的改變。

四、結果與討論

影像經由混合高斯函數，分離前景與背景影像後，再經由 Opening 與 Closing 方式處理後的結果，並經由人工計算之後，比較跟電腦辨識結果的差異，在溪流的電腦辨識與人工辨識結果比較，如下圖 2 至圖 6 所示。

由圖 2 至圖 6 可以看出，電腦辨識大多高估實際的魚隻數量，原因在於水波紋的不規則折射，造成水中光影不可預期的色階變化，而這樣的色階變化對於混合高斯模式容易造成條狀雜訊的發生，而此類雜訊無法經由 Opening 與 Closing 去除，造成系統誤判。而各段影片差異上，第一採樣點與第五採樣點的影像，較少拍到水面波紋反射，因此辨識出來的數據較其他三組數據精確度高。

水中不同的流速與不同的水深可以將採樣點性質分為急流、深流與深潭三種。其中水深小於 30 公分、流速大於 0.3 m/s 的環境稱為急流；水深大於 30 公分、流速大於 0.3 m/s 環境稱為深流；水深大於 30 公分、流速小於 0.3 m/s 的環境稱為深潭(Ian, 1993)。

因此辨識結果，與當地水文因子比較，以了解正確率變化的原因，如表 2。

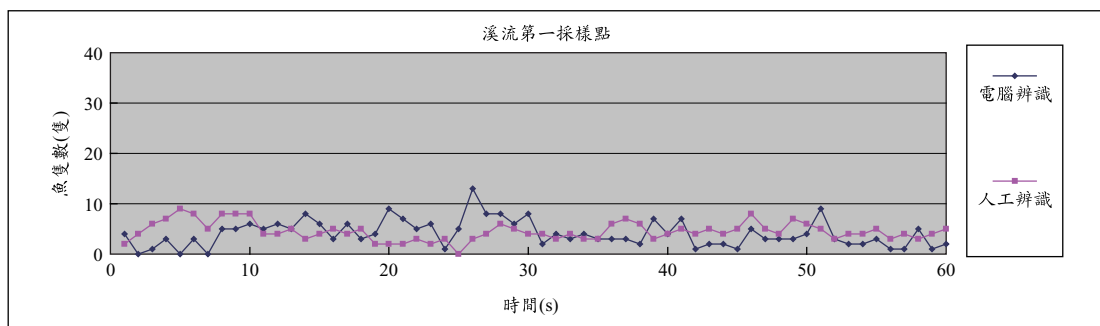


圖 2 金瓜寮溪流第一採樣點

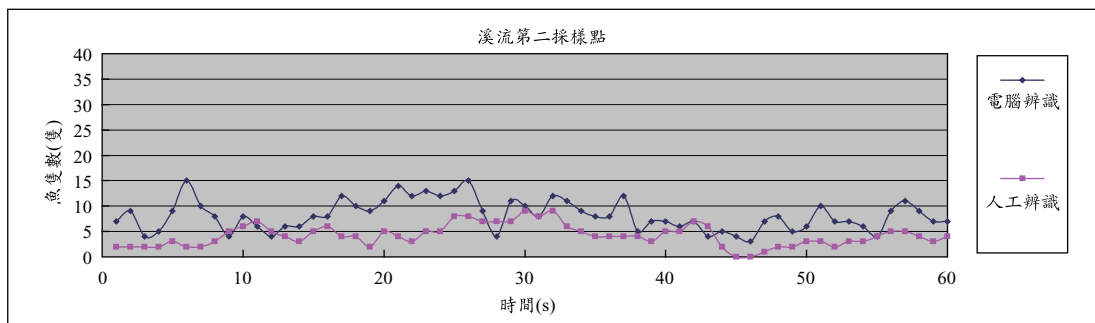


圖 3 金瓜寮溪流第二採樣點

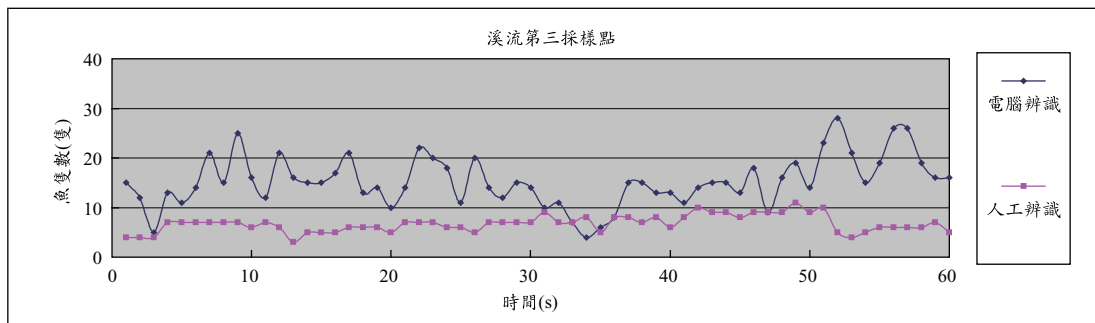


圖 4 金瓜寮溪流第三採樣點

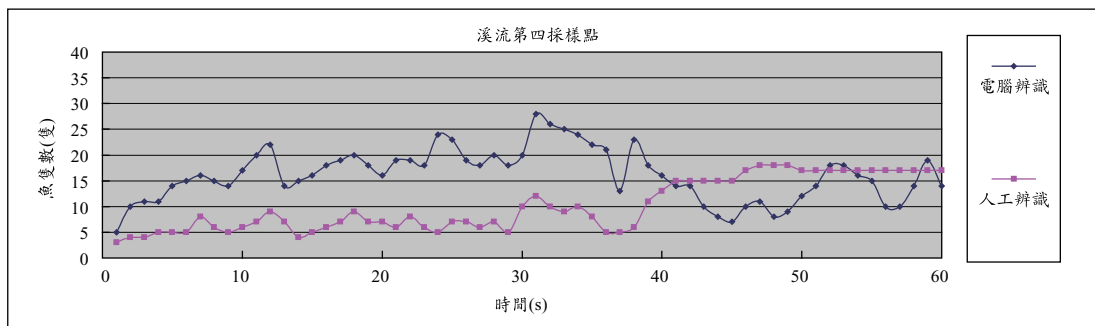


圖 5 金瓜寮溪流第四採樣點

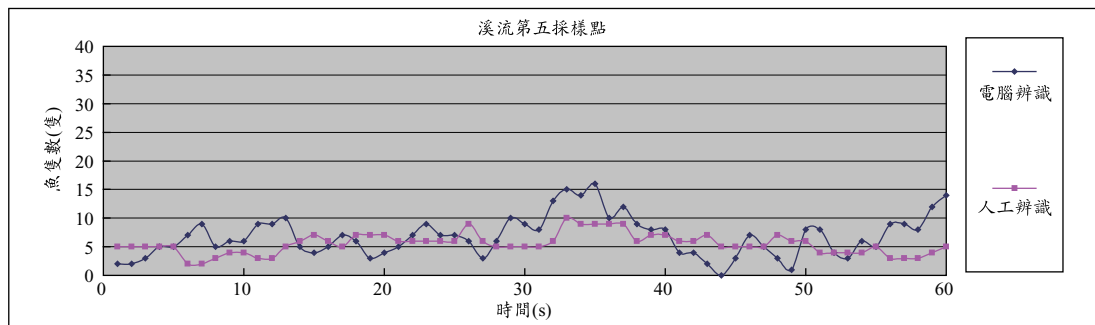


圖 6 金瓜寮溪流第五採樣點

表 2 採樣點辨識正確率與環境因子比較表

採樣地點	第一點	第二點	第三點	第四點	第五點
電腦辨識之平均每秒魚隻總數(隻/秒)	4.07	8.18	15.27	16.18	6.82
人工辨識之平均每秒魚之總數(隻/秒)	4.5	4.22	6.73	10.13	5.5
辨識正確率(%)	50.80%	50.40%	48.40%	50.40%	61.50%
流速(m/s)	0.17	0.42	0.42	0.02	0.16
濁度(NTU)	14.7	15	15	11	16.2
福祿數 Fr	0.068	0.157	0.157	0.012	0.104
採樣點性質	深潭	深流	深流	深潭	深潭

表 3 不同前人研究與混合高斯模式特性比較表

作者	蕭友晉 張文亮	林享晏、張嘉孟 方煒、朱元南	林宜弘	Paul, Philip and Derek	Chatain, Debas and Bourdillon	Strachan and Nesvadba	Zion, Shklyar and Karplus
辨識方法	混合高斯模式	畫格相減法	畫格相減法	Artificial Neural Network	Photographic Method Weighing Method	Invariant moments, Optimization of the mismatch, Shape descriptors.	Moment- Invariants
影像來源	影片	影片	影片	照片	照片 (人工計算)	照片	影片
實驗場地	室內室外皆可 場地不限(溪流、 池塘、溼地、水槽...)	室內 循環水道式 養殖池	室內 白色淺盤	室內 白色塑膠淺盤	室內 矩形水池	室內 魚隻撈出來 拍攝	室內 矩形水池
背景限制	固定不動的 背景	白色背景	白色背景	白色背景	白色背景	白色背景	-----
魚隻限制	不限	體長由 5~30 cm 大小不等	淺盤內魚隻 70 隻以下	魚隻大小介於 45-90 mm	大小顏色 需類似	-----	-----
水體限制	濁度低於 15NTU	清澈水	清澈水	清澈水	清澈水	X (撈出來拍)	清澈水
光源限制	混合高斯模式 有機器自我學習 能力,可適應光源 改變自行校正	固定打光	固定打光	固定打光	固定打光	固定光源	固定光源
正確率	15NTU 的環境 中辨識準確率 可以大於 50% 濁度越低正確 率越高。	在計數方面可達 到 95.7%的準確 率	碗盤內於苗 在 70 之內計 數準確率達 99%。	碗盤內 100 隻 魚可達 94%準 確率	正確率 79%-92%	63%-90%	91%-100%

-----：表示文獻中沒有說明。

影像辨識在五個採樣點中大致上都有超過50%的正確率，其中正確率因流速的增加而略為下降，然而五個採樣點福祿數(Froude number)皆小於1，為亞臨界流(Sub-critical Flow)，因此其影響程度不至明顯。

金瓜寮溪所屬的南勢溪主要為供應大台北地區飲用水的溪流，水質較為良好，因此五個採樣點的濁度對於正確率的影響程度在此野外實驗中並不明顯，水中濁度與正確率只有些微的反比關係。

混合高斯模式演算的方式會將每個所辨識完的畫格依照學習速率 α 的權重比，加入母體的高斯函數中，並且藉由這樣的方式排除太陽的光照位置以及環境色溫改變所造成的背景差異，因此理論上模式在訓練完成開始實際辨識之後，會隨著辨識的時間越長，藉由系統的自我學習而使精確率越來越高。

與多位前人研究進行比較，其比較表如表3。由比較表可以看出，本研究是唯一可以適用野外自然光源變化下的辨識方法，不受限光源改變、不受限複雜背景、不受限魚隻體長、可以抵抗部份濁度之水域、具有機器學習(Machine Learning)自動校正誤差的功能。

五、結論與建議

1. 影像辨識因影像的清晰度與否而使正確率改變，因此低濁度的上游河川較適合此種非破壞性監測的實際應用。
2. 實驗驗證的結果於溪流等流動水體，經由攝影技巧輔助的狀況下，辨識正確率接近60%。
3. 在影像辨識的正確率關鍵上，受限於影像的取得的清晰度，以及背景受到干擾的程度最為關鍵。其取得要避免攝影機由水底拍攝到水面，以免不規則的水波紋造成背景影像的高斯分佈不穩定；此外需避免在陰影短時間劇烈變化的地方拍攝，因為背景的光線不穩定嚴重影響混合高斯的背景模型建立。
4. 影像辨識方法尚無法在野外辨識魚隻種類，原因在於魚種外型資料庫數據不足，未來可藉由更多影像資料建立對應模式以及加入機器自

我學習機制達到魚種辨識的目標。

六、致謝

本研究感謝行政院國家科學委員會「影像辨認計數魚類族群豐富度於人工濕地之研究計畫」之經費支持。

七、參考文獻

1. 邵廣昭、何林泰、林介屏，1993。魚類群聚生態調查監測與分析方法。生物科學，第三十六卷、第2期，41-56頁。
2. 林宜弘，1995。機器視覺應用在魚苗計數之可行性研究。農業機械學刊，第四卷、第2期，37-45頁。
3. 林享曇、張嘉孟、方煒、朱元南，2006。應用機器視覺的養殖池魚類自動計量分析系統。農業機械學刊，第15卷、第1期，25-36頁。
4. 郭世榮，1996。清水溪流域魚類族群結構與環境因子關係之研究。生物科學，第三十九卷、第1期，28-40頁。
5. 葉素惠，1997。清流復活事業による都市河川の生物生息環境の回復。東京農工大學，碩士論文。
6. 蕭友晉、張文亮，2006。以影像辨識技術計算生物數量以作水域工程生態效益評估。生態工程研討會，473-478頁。
7. Baker, C. S., J. M. Straley and A. Perry, 1992. Population characteristics of individually identified humpback whales in southeastern Alaska: Summer and fall 1986. Fishery Bulletin. Vol. 90, pp. 429-437.
8. Chang, M. H., Y. S. Lin and L. C. Chaung, 1999. Effect of Dams on Fish Assemblages of the Tachia River, Taiwan. Acta Zoologica Taiwanica. Vol. 10, No. 2, pp. 77-90.
9. Chatain, B., L. Debas and A. Bourdillon, 1996. A photographic larval fish counting technique: comparison with other methods, statistical appraisal of the procedure and practical use.

- Aquaculture. Vol. 141, pp. 83-96.
10. Chuang, L. C., Y. S. Lin and S. H. Liang, 2006. Ecomorphological Comparison and Habitat Preference of 2 Cyprinid Fishes, *Varicorhinus barbatulus* and *Candidia barbatus*, in Happen Creek of Northern Taiwan. *Zoological Studies*. Vol. 45, No. 1, pp. 114-123.
 11. Duda, R. O., P. E. Hart and D. G. Stork, 2001. *Pattern Classification*, Second Edition. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.
 12. Hunke, M. and A. Waibel, 1994. Face locating and tracking for human-computer interaction. *Signals, Systems and Computers*. Vol. 2, No. 31, pp. 1277-1281.
 13. Ian G. Jowett, 1993. A method for objectively identifying pool, run, and riffle habitats from physical measurements, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. Vol. 27, pp. 241-248.
 14. Kato S., K. Tamada and Y. Chujo, 1996. A quantification of goldfish behavior by an image processing system. *Behavioral Brain Research*. Vol. 80, pp. 51-55
 15. Kato S., T. Nakagawa and M. Ohkawa, 2004. A computer image processing system for quantification of zebrafish behavior. *J. Neuroscience Methods*, Vol. 134, pp. 1-7.
 16. Katona, S. K., B. Baxter, O. Brazier, S. Kraus, J. Perkins and H. Whitehead, 1979. Identification of humpback whales by fluke photographs. *Behavior of Marine Animals*. Vol. 3, pp. 33-44. Plenum Press, New York, USA.
 17. Katona, S., 1989. Getting to know you: New way of looking at marine mammals. *Oceanus*. Vol. 32, pp. 37-44.
 18. Newbury, p. F., P. F. Culverhouse and D. A. Pilgrim, 1995. Automatic fish population counting by artificial neural network. *Aquaculture*. Vol. 133, pp. 45-55.
 19. Paul F. Newbury, Philip F. Culverhouse and Derek A. Pilgrim, 1995. Automatic fish population counting by artificial neural network. *Aquaculture*. Vol. 133, pp. 45-55.
 20. Rafael, C. G. and E. W. Richard, 2002. *Digital Image Processing*, Second Edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA.
 21. Stauffer, C. and W. E. L. Grimson, 1999. Adaptive background mixture models for real-time tracking. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. pp. 246-252.
 22. Stauffer, C. and W. E. L. Grimson, August 2000. Learning patterns of activity using real-time tracking. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 22, No. 8, pp. 747-757.
 23. Sternberg, S. R., 1986. Grayscale morphology. *Computer Vision, Graphics Image Process*. Vol. 35, pp. 333-355.
 24. Strachan n. j. c. and p. Nesvadba, 1990. Fish Species Recognition by Shape Analysis of Image. *Pattern Recognition*, Vol. 23, No. 5, pp. 539-544.
 25. Yang, C. H., 1997. The effect of the water temperature on Taiwan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) in Chichiawan Stream basin. Master's thesis, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan.
 26. Zion B., A. Shklyar and I. Karplus, 2000. In-vivo fish sorting by computer vision. *Aquacultural Engineering*. Vol. 22, pp. 165-179.

收稿日期：民國 98 年 4 月 9 日
 修正日期：民國 98 年 9 月 8 日
 接受日期：民國 98 年 9 月 15 日