

## 應用圖形辨識於青萍數量之計算

# Using Pattern Recognition in Counting Numbers of *L. Aequinoctialis Welwitsch*

國立台灣大學

生物環境系統工程學研究所碩士班研究生

蕭友晉

Yo-jin Shiau

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

### 摘 要

本研究之目的在檢測圖形辨識科技辨識青萍數量的能力。研究選用台北縣新海橋人工濕地的青萍作為樣本，並採用圖形辨識科技來計算限定區域水面上的青萍數量。實驗建立了五種不同的浮萍覆蓋密度，以比較本科技計算青萍數的準確度。研究假設，浮萍葉片主要可分為亮綠色及暗綠色，並採取亮暗色階各一的方式分別建立兩組高斯函數來進行辨識工作。

在無葉片重疊的條件下，經由混合高斯分佈模式，五組覆蓋密度下的浮萍計算準確度分別為：95.7%，76.8%，68.2%，82.1%，and 90%。

在兩組高斯分佈混合以及 90%可信賴區間的基礎下，浮萍計算的準確度將可達到 80%。

**關鍵詞：**圖形辨識，混合高斯分佈，青萍。

### ABSTRACT

The purpose of the study is to examine the ability of pattern classification technology for identifying the quantity of duckweed. The study chose the duckweed from Xin-Hai-Qiao constructed wetlands in Taipei County as the study sample, and it applied the pattern classification technology to calculate the quantity of duckweed on top of water surface in a limited area. In this experiment, five covering densities were built to compare the duckweed-counting accuracies of pattern classification technology. The assumption is that duckweed leaves are mainly light green and dark green. Then light pixels and dark pixels were adopted to build two groups of Mixture Gaussian Models for duckweed identification.

While using simplified Mixture Gaussian Model, without overlapping of duckweed

\*通訊作者，國立台灣大學生物環境系統工程學系教授，106 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，wenlian@ntu.edu.tw

leaves, the counting accuracies under five covering conditions were 95.7%, 76.8%, 68.2%, 82.1%, and 90%.

On the bases of two Gaussians and 90% acceptance region, the duckweed counting accuracy will reach 80%.

**Keyword:** Pattern recognition, Gaussian distribution, *L. Aequinoctialis*.

## 一、緒 論

### 1. 前言

在傳統人類社會裡，爲了工業發展以及人類糧食問題，只要是能夠使用的土地，都會加以開發。但是由於人口成長速度過快，原有可耕面積日漸減少，居住空間也漸漸不足，因此人們將許多原本較爲潮濕的土地透過工程手段加以排水利用，如下游三角洲以及許多原本屬於溼地的面積透過排水工程加以變更使用。

然而在 1950 年之後，逐漸發現這樣的一種工程手段使得原本生活在那些溼地的動植物消失，生態系統由於人類的工業、農業開發招致破壞，人類藉由大自然中獲取許多資源，提供了快速的工業發展。但也由於過度快速開發，不合理的利用自然資源，造成了全球性環境污染與生態破壞，而引起人們對人類前途的普遍關注。

1972 年美國環保署針對水資源的破壞，首先提出淨水法案(Clean Water Act)，並開始進行各項努力，希望能將受污染的水體淨化，重新回到可供嬉戲、飲用的標準。然而透過污水處理廠，以化學手段淨化水體耗費甚巨，因此人工溼地的觀念便興起。

人工溼地爲一個其上長著水生植物的淺塘，利用水生植物以生物體吸收有機與無機營養鹽類達到水質淨化的效果。溼地中水生植物依照生長型態分爲四種類型，挺水性植物、沉水性植物、浮葉性植物以及漂浮性植物。挺水性植物主要有蘆葦、香蒲、水毛花以及水蓴衣等，沉水性植物代表則爲馬藻，浮葉性植物主要爲田字草及荷花，漂浮性植物則以布袋蓮及浮萍科植物爲主。其中挺水性、沉水性以及浮葉性植物在生長

數量以人工計算莖幹尚屬容易，而漂浮性如浮萍科植物，由於生長單位面積植株數量過高，人工計算植物數量較爲不可行，因此有待尋求其他方法解決。

### 2. 浮萍的生物特性與污水去除效果

浮萍是一個非常小的漂浮性水生植物，屬於浮萍科(*Lemnaceae*)，多長在高營養的水域，常見有青萍屬(*Lemna*)、紫萍屬(*Spirodela*)、水蚤萍屬(*Wolffia*)以及扁無根萍屬(*Wolffiella*)四種(Dalu and Ndamba, 2003)。浮萍的根系主要受限於水中的營養份以及生長的時間，大多不會超過 1 公分。扁無根萍葉面直徑大約在 2mm，青萍則介於 5~8mm 之間，紫萍葉面最大則有 20mm (Landolt and Kandeler, 1987)。

覆蓋著浮萍的池水被認爲是個成功的污水處理方法(Oron 1984,1987)，也同時是很好的生物量生產系統(Skillicorn et al., 1993)。在污水處理的成效上，浮萍增加池中氧氣速率在 3~4g/m<sup>2</sup>-day，在 BOD 的承載力則在 4.8~6g/m<sup>2</sup>-day 之間，此外對於氨氮以及磷的移除量也在 0.49g/ m<sup>2</sup>-day 以及 0.09g/m<sup>2</sup>-day (Alaerts et al., 1996)。在生物量的產量爲 10g/m<sup>2</sup>-day (Edwards et al., 1992)。

在搭配其他物種混合處理污水方面，利用十個水槽串聯，第一與第二個水槽以及第六到第十個水槽種植浮萍，第三到第五個水槽則利用藻類混合處理污水，得到的污染物移除效果，COD 移除率達到 55%，氨氮移除率有 53%，有機氮移除率接近 100%，磷酸根則爲 39%的移除率，而生物量產量則可以達到 8.2~16.4g/m<sup>2</sup>-day(Steen et al., 1998)。

然而在這些污水處理的前人文獻中，浮萍數

量並沒有在研究中被加以定義量化，對於不同的浮萍數量，污水水質的去除效果也未加以比較。乃因浮萍單位密度過高，在人工計算上有相當大的困難，因此在數量上只能提供概略性的覆蓋比例。

### 3. 圖形識別方法回顧

資訊圖形辨識領域自 90 年代起蓬勃發展，利用電子計算機高速準確的運算能力，透過統計學理論建立許多影像辨識的模式。

1986 年 Grayscale Morphology 的影像處理理論被提出(Sternberg, 1986)，透過此方法，可以加強灰階影像輪廓的清晰度。

之後學者利用 Grayscale Morphology 理論，從顯微鏡拍攝水樣灰階影像，利用電腦影像識別對水中大腸桿菌菌落進行數量上的計算，以作為分析水質優劣的方式(Mukherjee, 1995)。

1994 年，學者提出利用色階標準化(color normalization)對所欲辨識的物體建立其色階分布(color distribution)，利用此色階分布與未知影像進行比對，即可以將所欲辨識的物體影像與背景分離出來(Hunke and Waibel, 1994)。

此外混合高斯模式的提出，經由多個高斯統計混合模式搭配卡門濾波，更能成功的作為分離前景與背景之方法，用以追蹤物體移動(Wren et al., 1997)。

利用混合高斯的方式，採用主成份分析將訓練影像建立出識別模式，對室內的動態影像進行人臉追蹤辨識，在八種不同的人臉中，共使用 296 張裁剪後之臉部影像，對建立出來的模式進行測試，得到識別的正確率為 55.1% (Mckenna et al., 1998)。

對於物體受光線影響為固定沒有色階差異的狀況下，單一的高斯分佈就足夠對物體建立模式，但若光線的影響若有不同或是經常改變造成色階差異，則使用混和的多高斯分佈較易逼近所欲辨識的結果(Stauffer and Grimson, 1999)。而依據此理論利用混合多高斯分佈，設計對一特定區域監測，成功辨識出 33 輛車以及 34 個人經過。

### 4. 研究目的

由於漂浮性植物數量以人工方式計算較為困難，而現今數位影像取得極為容易，因此本文期望藉由影像辨識的方法，透過電腦運算識別在固定區域內浮萍植株數量，以作為未來量化漂浮性植物植物數量對污水處理效果之依據。

由於取得影像為 24bits 全彩，故本文研究採用全彩影像所建立出的三維 RGB 相空間，並以混合高斯模式，對受到不同光照影響而有不同色階差異的浮萍靜態影像進行辨識。研究中利用統計分群理論將亮暗色階分離並且各自建立其對應的高斯函數，以自動化計算浮萍之植株數量。

## 二、理論與模式

電腦影像中，每個像素點皆有一代表顏色之 RGB 數值，R 為影像中的紅色量值，G 為影像中的綠色量值，B 為影像中的藍色量值。利用此 RGB 量值表示影像中每個像素點色階，即可將任意像素  $x_i$  表示成一個三維空間向量，如下公式：

$$x_i = \begin{bmatrix} r_i \\ g_i \\ b_i \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

其中  $r_i$  為紅色色階值， $g_i$  為綠色色階值， $b_i$  為藍色色階值。

利用多個高斯分佈套疊每個像素點可以得到較高的辨識成效(Stauffer and Grimson, 1999)。

假設葉片顏色的 RGB 色階依照亮暗不同，在三維空間呈現數個常態分佈，而其最明顯之兩常態分佈受到光照所影響而呈現亮暗差異。因此本研究以亮暗色階之兩個高斯分佈，分別表示浮萍亮色階以及暗色階，作為辨識的常態分佈依據。

#### 1. 建立青萍葉片亮暗色階

青萍葉片色階由於光照或是生長時期的差異，在顏色的表現上會有某種程度的差異性。由隨機選取的青萍樣本中，建立亮暗色階兩個高斯分佈之前，先需分類亮暗色階的 RGB 參數。建

立亮暗色階使用 K-mean 分群理論為計算方式。

首先將樣本點隨機分成初始兩類  $\bar{Z}_1$ 、 $\bar{Z}_2$ 。之後任意移動  $\bar{Z}_1$  與  $\bar{Z}_2$  中的樣本點，計算任意樣本點  $x_i$  距離此兩類別之中心點距離，以決定是否改變任意樣本點  $x_i$  之分類群組。即：

$$d^2(x_i, (\bar{Z}_1)) < d^2(x_i, (\bar{Z}_2)) \cap x_i \in \bar{Z}_2 \Rightarrow x_i \in \bar{Z}_1$$

$$d^2(x_i, (\bar{Z}_2)) < d^2(x_i, (\bar{Z}_1)) \cap x_i \in \bar{Z}_1 \Rightarrow x_i \in \bar{Z}_2$$

.....(2)

直到所有樣本點之距離其所屬分類平均值為最短距離不再改變。(Richard and Dean 2002)

## 2. 建立葉片像素點常態分佈

建立亮暗色階像素點高斯分佈，分別計算此二高斯分佈之平均值與標準差如下公式 (Montgomery et al., 2001)：

$$\mu_i = \bar{Z}_i = \begin{bmatrix} \bar{r} \\ \bar{g} \\ \bar{b} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

其中  $\mu_i$  為第  $i$  個分群內所有像素點 RGB 三分量平均值組成的向量矩陣。

$$\Sigma_i = \begin{bmatrix} \sigma_{rr}^2 & \sigma_{rg}^2 & \sigma_{rb}^2 \\ \sigma_{gr}^2 & \sigma_{gg}^2 & \sigma_{gb}^2 \\ \sigma_{br}^2 & \sigma_{bg}^2 & \sigma_{bb}^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

其中  $\Sigma_i$  為第  $i$  個分群內所有像素點 RGB 三分量的相關係數矩陣， $\sigma_{kk}^2$  為高斯分布之變異量， $\sigma_{jk}^2$  為高斯分布之共分散量 ( $j \neq k$ )。

為了簡化電腦運算負擔，假設高斯分布之共分散量為零，且假設任意變異量皆相等，即  $\Sigma_i = \sigma_{pp}^2 \mathbf{I}$ 。可將六個未知數簡化成單一未知數，詳細以相關係數矩陣表示如下 (Stauffer and Grimson, 1999)：

$$\Sigma_i = \begin{bmatrix} \sigma_{pp}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{pp}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{pp}^2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

本研究假設相關係數矩陣之變異量  $\sigma_{pp}^2$  為原

始變異量之平均值，即：

$$\sigma_{pp}^2 = \frac{1}{3} [\sigma_{rr}^2 + \sigma_{gg}^2 + \sigma_{bb}^2] \dots\dots\dots(6)$$

## 3. 建立辨識門檻公式

多變量高斯分佈公式機率密度函數如下 (Richard and Dean 2002)：

$$P(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})' \Sigma^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}) \right] \dots\dots\dots(7)$$

其中  $P(\mathbf{x})$  為  $\mathbf{x}$  所成之機率密度函數； $\boldsymbol{\mu}$  為平均值矩陣； $\Sigma$  為相關係數矩陣； $\pi$  為圓周率。

當採用  $n$  個標準差為辨識門檻，假設辨識門檻之標準差為  $\sigma$ ，將之代入上述機率密度函數公式如下：

$$P(n\sigma + \boldsymbol{\mu}) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (n\sigma)' \Sigma^{-1} (n\sigma) \right] \quad n \in Z^+ \dots\dots\dots(8)$$

假設有任一像素點  $\mathbf{x}_i$ ，則辨識此任意一像素點是否屬於浮萍葉片所屬之高斯分佈，則將點  $\mathbf{x}_i$  代入機率密度函數求取此點之機率，比較與標準差代入之機率所算出數值大小。當任意點  $\mathbf{x}_i$  機率大於  $n\sigma$  之機率時，則認定此像素點屬於浮萍葉片所成之集合，即表示認定此像素點為浮萍葉片 (Duda et al., 2001)。

由機率密度函數：

$$\therefore P(\mathbf{x}_i) \geq P(n\sigma + \boldsymbol{\mu})$$

$$\frac{1}{(2\pi)^{3/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})' \Sigma^{-1} (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}) \right] \geq \frac{1}{(2\pi)^{3/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (n\sigma)' \Sigma^{-1} (n\sigma) \right] \dots\dots(9)$$

因為左右兩式之  $\frac{1}{(2\pi)^{3/2} |\Sigma|^{1/2}}$  為常數，簡化整理：

$$\exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})\right] \geq \exp\left[-\frac{1}{2}(n\boldsymbol{\sigma})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(n\boldsymbol{\sigma})\right] \dots\dots\dots(10)$$

自然對數為一絕對單調遞增函數，不等式左右兩側可相互消去整理：

$$-\frac{1}{2}(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}) \geq -\frac{1}{2}(n\boldsymbol{\sigma})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(n\boldsymbol{\sigma}) \dots\dots\dots(11)$$

將不等式兩側之-1/2 消去整理得到：

$$(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}) \leq (n\boldsymbol{\sigma})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(n\boldsymbol{\sigma}) \dots\dots\dots(12)$$

由於混合高斯理論在本文假設  $\boldsymbol{\Sigma} = \sigma \mathbf{I}$ 。因此將(12)式矩陣展開如下：

$$\begin{aligned} & (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})' \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix}^{-1} (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}) \\ & \leq (n\boldsymbol{\sigma})' \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix}^{-1} (n\boldsymbol{\sigma}) \dots\dots\dots(13) \end{aligned}$$

整理(13)式之後可以得到：

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sigma^6} (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})' \begin{bmatrix} \sigma^4 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^4 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^4 \end{bmatrix} (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}) \\ & \leq \frac{1}{\sigma^6} (n\boldsymbol{\sigma})' \begin{bmatrix} \sigma^4 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^4 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^4 \end{bmatrix} (n\boldsymbol{\sigma}) \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

將不等式兩邊的常數省略，並且將  $(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})$  以及  $(n\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\mu})$  展開成為矩陣方程式如公式(15)：

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} r_i - \bar{r} & g_i - \bar{g} & b_i - \bar{b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma^4 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^4 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_i - \bar{r} \\ g_i - \bar{g} \\ b_i - \bar{b} \end{bmatrix} \\ & \leq \begin{bmatrix} n\sigma & n\sigma & n\sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma^4 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^4 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n\sigma \\ n\sigma \\ n\sigma \end{bmatrix} \dots\dots\dots(15) \end{aligned}$$

公式(15)再展開整理如下：

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \sigma^4 (r_i - \bar{r}) & \sigma^4 (g_i - \bar{g}) & \sigma^4 (b_i - \bar{b}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_i - \bar{r} \\ g_i - \bar{g} \\ b_i - \bar{b} \end{bmatrix} \\ & \leq \begin{bmatrix} \sigma^4 (n\sigma) & \sigma^4 (n\sigma) & \sigma^4 (n\sigma) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n\sigma \\ n\sigma \\ n\sigma \end{bmatrix} \dots\dots\dots(16) \end{aligned}$$

不等式左右兩側約分常數  $\sigma^4$ ，可得到公式(17)：

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} (r_i - \bar{r}) & (g_i - \bar{g}) & (b_i - \bar{b}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_i - \bar{r} \\ g_i - \bar{g} \\ b_i - \bar{b} \end{bmatrix} \\ & \leq \begin{bmatrix} n\sigma & n\sigma & n\sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n\sigma \\ n\sigma \\ n\sigma \end{bmatrix} \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

亦即判別方程式可以簡化為：

$$(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})' (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}) \leq 3(n\sigma)^2 \dots\dots\dots(18)$$

即辨識任一個像素色階是否屬於浮萍的色階分佈，計算此點在三維空間中對於平均值的距離平方是否小於  $3n^2$  倍的變異量，作為辨識的判別式。

### 三、實驗與方法

本實驗採用植物是以台北縣新海橋人工溼地的青萍為拍攝對象。將青萍採集回實驗室，培養在一個直徑為 46.5 公分的圓桶中，待青萍適應桶內環境之後，以 Nikon D70s 數位相機，50mm F1.8 之鏡頭作為影像擷取來源，拍攝 JPEG 最佳畫值之 3008\*2000 解析度照片。影像前處理部分，使用繪圖軟體切除影像中桶子以外部份，並縮圖存檔為 2000\*2000 大小，JPEG 壓縮比 95% 之高彩影像。拍攝時間選定為陰天的中午，期望減低天候因素對於水面造成的反光，以便測試理想狀況下系統對於浮萍計算的正確性。

實驗拍攝一張影像作為建立浮萍常態分佈的訓練影像來源。測試樣本設定五種不同數量青萍作為測試照片，每種數量拍攝五張相同角度影像，並且在辨識前選擇較清晰的四張影像作為圖

形辨識來源影像，計算正確率則以四張影像各自正確率取其平均求得。

常態分佈的空間建立以獨立拍攝之訓練影像中，隨機尋找 26 顆青萍，對其上每個像素點之 RGB 值進行 K-mean 分群的亮暗色點分類，以便建立青萍亮暗兩種色階，其後並對分類完的兩個群體分別計算平均值以及標準差作為辨識門檻的參數值。

由於青萍的大小主要受限於水中的營養份以及生長的時間，個體大小差異不大，因此本文計算青萍大小則利用所讀取的 26 個青萍樣本影像，計算每張樣本青萍所有的綠色色階像素點數，然後取 26 張影像的大小平均值，作為青萍實際大小。影像辨識的過程則以識別測試影像中每一個像素點是否為浮萍所呈之集合，若識別結

果為真，則將此像素點標記為紅色(255,0,0)。反之若程式判別結果為否定，則不在此像素點上做任何記號。

最後統計總共識別出來的青萍點數，除以訓練樣本所建立出來的平均大小，作為此張影像實際辨識出的青萍數量。人工計算的部分，將影像經由印表機列印出來之後，由他人以人工方式對每一浮萍標記計算，求得實際桶內浮萍數量。

辨識系統軟硬體規格為，AMD K8 SP 3000+，Windows XP SP2。程式撰寫平台為 Visual Basic 6.0 版。

#### 四、結果與討論

五種青萍的覆蓋密度原始影像縮圖如下：



圖 1 第一組影像，浮萍數量 366 顆

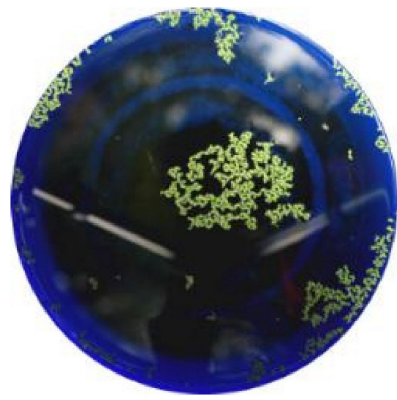


圖 2 第二組影像，浮萍數量 412 顆



圖 3 第三組影像，浮萍數量 1,010 顆

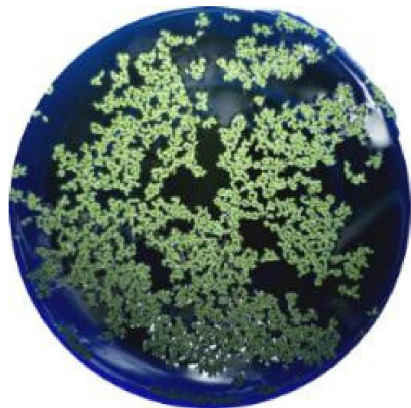


圖 4 第四組影像，浮萍數量 1,528 顆

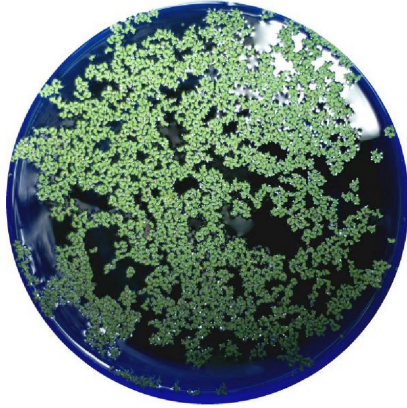


圖 5 第五組影像，浮萍數量 1,924 顆

經由 12,945 個青萍訓練樣本之像素點，建立出亮暗兩個色階之高斯分佈。由 K-mean 分群理論將 12,945 點分為亮色階 5,146 像素點，暗色階 7,799 像素點。

亮色階之高斯分佈平均值及相關係數矩陣為：

$$\bar{\mathbf{x}}_{light} = [174 \quad 208 \quad 156]$$

$$\mathbf{S}_{light} = \begin{bmatrix} 633 & 412 & 742 \\ 412 & 432 & 340 \\ 742 & 340 & 1207 \end{bmatrix}$$

而將相關係數矩陣正交化之後可得：

$$\mathbf{S}'_{light} = \begin{bmatrix} 757 & 0 & 0 \\ 0 & 757 & 0 \\ 0 & 0 & 757 \end{bmatrix}$$



圖 6 經由圖形辨識後所標記之青萍

而暗色階之高斯分佈平均值及相關係數矩陣為：

$$\bar{\mathbf{x}}_{dark} = [64 \quad 93 \quad 71]$$

$$\mathbf{S}_{dark} = \begin{bmatrix} 1045 & 1208 & 663 \\ 1208 & 1468 & 718 \\ 663 & 718 & 606 \end{bmatrix}$$

同樣將相關係數矩陣正交化之後可得：

$$\mathbf{S}'_{dark} = \begin{bmatrix} 1040 & 0 & 0 \\ 0 & 1040 & 0 \\ 0 & 0 & 1040 \end{bmatrix}$$

將亮暗色階分別計算出來的平均值與標準偏差分別帶入公式(17)之後可以得到判別方程式為：

亮色階：

$$\mathbf{x}^T \mathbf{x} - 2[174 \quad 208 \quad 156]^T \mathbf{x} > 1,719,147n^2 - 97876$$

暗色階：

$$\mathbf{x}^T \mathbf{x} - 2[64 \quad 93 \quad 71]^T \mathbf{x} > 3,244,800n^2 - 17786$$

下圖分別為辨識前之原始影像，以及經由程式辨識之後標記的青萍位置及計算數量。

由各組影像辨識結果以表 1 整理如下。

由表 1 可以得知，經由四次的重複演算，在不同的青萍密度裡，沒有葉片重疊的狀況之下，經由混合高斯分佈演算法，選定兩個高斯分佈套疊並且以一個標準差作為辨識門檻，有效的辨識正確率大多可以達到七成以上。



圖 7 經由圖形辨識後所標記之青萍

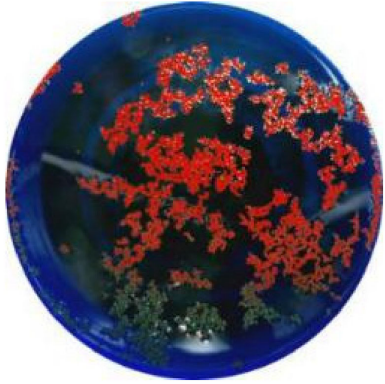


圖 8 經由圖形辨識後所標記之青萍



圖 9 經由圖形辨識後所標記之青萍



圖 10 經由圖形辨識後所標記之青萍

隨著植物的數量增加，正確率也有漸漸增加的趨勢。原因在於，由辨識結果輸出的影像可以發現，誤差來源大多出現在水波紋反光處。當植物覆蓋面積較低時，暴露出來的自由水面越多，反光的現象也會更為明顯；反之當植物覆蓋較為密集時，自由水面較少，會反光的水面自然較少，因此誤差也會較小。另外因為辨識方法採取顏色色階分析，在影像陰影等缺乏光照之處，葉片色差無法明顯顯現而趨近與污水相近之黑灰色，造成程式無法正確辨識暗部色階的前景與背景差異，因而產生誤判。在青萍葉面強烈反光之處亦有相同情形而導致程式誤判。

## 五、結論與建議

1. 混合高斯模式對於色階變化較大的影像，可以有效提高辨識效果。

表 1 青萍影像辨識正確率

|               | 第一組   | 第二組   | 第三組   | 第四組   | 第五組   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 電腦辨識<br>平均正確率 | 90.0% | 82.1% | 68.2% | 76.8% | 94.0% |

2. 採用越多個高斯函數分佈，可以得到越精確的辨識效果，然而需花費更多的運算時間。
3. 選擇越嚴謹的標準偏差，可以有效減少誤判，然而選擇過小的標準偏差，反而會使辨識效果大幅降低。依據不同的光影狀況，建議標準偏差在 1.3~1.7 之間，即可信賴區間接近 90%，可獲得較佳的辨識效果。
4. 訓練影像經過分群處理時，比較不同分群數量之數據，選定最適當混合高斯模式的各數，便可以採用更嚴格的標準偏差進行影像辨識，提高影像辨識正確率。

## 致 謝

本研究感謝行政院環境保護署「河川水質淨化工法設計研究計畫」之經費支持，與台北縣政府環保局新海橋人工溼地場址青萍之提供。

## 參考文獻

1. Alaerts, G. J., M. R. Mahbubar and P. Kelderman. "Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon." *Water Research*. Vol. 30, No. 4, 843-852, 1996.
2. Dalu, J. M., J. Ndamba. "Duckweed based



- wastewater stabilization ponds for wastewater treatment (a low cost technology for small urban areas in Zimbabwe).” *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 28, 1147-1160, 2003.
3. Duda, R. O., P. E. Hart and D. G. Stork. Pattern Classification, Second Edition. Chapter 2 and Chapter 3, 20-54 and 84-140, John Wiley and Sons, Inc. New York, USA, 2001.
  4. Edwards, P., M. S. Hassan, C. Chao and C. Pacharaprakiti. “*Cultivation of duckweeds in septage-loaded earthen ponds.*” *Bioresource Technology*. Vol. 40, 109-117, 1992.
  5. Hunke, M. and A. Waibel. “*Face locating and tracking for human-computer interaction.*” *Asilomar Conf. Signal, Systems and Computers, CA*. Vol 28. 1994.
  6. Landolt, E. and Kandeler, R.. “*The family of Lemnaceae — a monographic study.*” *Veroeffentlichungen des Geobotanisches Institutes der Edg. Tech. Hochschule, Stiftung Ruebel, Zuerich*. p. 638, 1987.
  7. Mckenna, S. J., S. Gong and Y. Raja, 1998. “*Modelling facial colour and identity with Gaussian mixtures.*” *Pattern Recognition*, Vol. 31, No. 12, 1883-1892, 1998.
  8. Montgomery, D. C., G. C. Runger and N. F. Hubele. Engineering Statistics, Second Edition. Chapter 3, 55-74, John Wiley and Sons, Inc. New York, USA, 2001.
  9. Mukherjee, D. P., A. Pal, S. E. Sarma and D. D. Majumder. “*Water quality analysis: a pattern recognition approach.*” *Pattern Recognition*. Vol. 28, No. 2, 269-281, 1995.
  10. Oron, G., L. R. Wildschut and D. Porath. “Wastewater recycling by duckweed for protein production and effluent renovation.” *Wat. Sci. Tech.*. Vol 17, 803-817, 1984.
  11. Oron, G., D. Porath and H. Jansen. “Performance of the duckweed species Lemna Gibba on municipal wastewater for effluent renovation and production.” *Biotech. Bioengng.*. Vol 29, 258-268, 1987.
  12. Richard, A. J. and W. W. Dean. Applied Multivariate Statistical Analysis, Fifth Edition. Chapter 11 and Chapter 12, 581-730, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, USA, 2002.
  13. Skillicorn, P., W. Spira and W. Journey. “*Duckweed aquaculture.*” World Bank publication, Washington, 1993.
  14. Stauffer, C. and W. E. L. Grimson. “*Adaptive background mixture models for real-time tracking.*” *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 246-252, 1999.
  15. Steen, P., A. Brenner and G. Oron. “*An integrated duckweed and algae pond system for nitrogen removal and renovation.*” *Wat. Sci. Tech.*. Vol. 38, No. 1, 335-343, 1998.
  16. Sternberg, S. R., “*Grayscale morphology.*” *Computer Vision, Graphics Image Process*. Vol 35, 333-355, 1986.
  17. Wren, R. Christopher, A. Azarbayejani, T. Darrell and A. Pentland. “*Pfinder: Real-time tracking of the human body.*” *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 2, 780-785, July 1997.

收稿日期：民國 95 年 3 月 9 日

修正日期：民國 95 年 7 月 25 日

接受日期：民國 95 年 9 月 18 日