

專 論

應用圖像處理技術於檢測排水濾網網目數
與網目密度

**Application of Image Processing in Estimating
Drainage Textile Density**

國立屏東科技大學
土木工程系
副教授

鍾文貴*

Wen-Guey Chung

國立屏東科技大學
土木工程系
副教授

王裕民

Yu-Min Wang

國立屏東科技大學
土木工程系
副教授

王弘祐

Hung-Yu Wang

國立屏東科技大學
土木工程系
教授

劉英偉

Ine-We Liu

摘 要

本文以簡便型數位顯微鏡拍攝得排水濾網圖像，再應用圖像處理技術與 Matlab 撰寫的檢測分析程式，快速且準確地自動檢測出濾網的網目數與網目密度。試驗結果顯示，與人工計算相比較，本文採用的檢測方法計算得到之濾網網目數與網目密度，誤差小於 5% 以下，顯見採用此方法檢測得到的結果甚為可靠，應用在實務上將可取代傳統的人工作業，具有實用價值。

關鍵詞：圖像處理，濾網，密度。

ABSTRACT

In this paper, a practical method based on a digital microscope camera and the techniques of digital image processing is presented for automatically estimating the drainage textile density. The experimental results demonstrate the relative error of computation is below 5%, which shows the efficiency and practicability of the presented method.

Keywords: Image processing, Textile, Density.

*通訊作者，國立屏東科技大學土木工程系副教授，91201 屏東縣內埔鄉學府路 1 號，wenguey@mail.npust.edu.tw

一、前言

排水濾網除了用於排水工程外，亦作為地工加勁用途。網目密度是濾網物理性質的主要參數之一，目前其量測的方法主要是依靠人工數網目或以密度分析鏡來完成，分析過程費時、單調乏味且容易造成眼睛疲勞，對於網目較小的濾網，這樣的分析方法就更吃力，不僅工作效率低，且存在人工不可避免的誤差，較難進行大規模的檢測工作。為此，本文採用簡便型數位顯微鏡(digital microscope camera)，再配合應用圖像處理技術與個人電腦撰寫檢測分析程式，來達成方便、快速且準確地自動檢測濾網網目數與網目密度的目標。

近年來紡織產業應用圖像處理技術自動檢測機織物密度的研究發展越來越受重視，目前在檢測紡織物密度方面的圖像處理方法有：中值濾波法、傅立葉變換法、小波變換法等[1~5]。由於大部分濾網的編織結構與紡織物相類似，因此，參考前述圖像處理方法來分析濾網網目數與網目密度應屬可行。但是，經筆者初步測試比較各種圖像濾波法後，發現採用中值濾波法能有效去除濾網圖像的雜訊，在檢測濾網網目的辨識效果上較為明顯。故，本文整合應用圖像處理技術的中值濾波法、圖像增強法與二值化等方法，探討其應用於檢測濾網圖像網目數與網目密度的分析模式與準確度。

二、試驗方法與材料

2.1 試驗材料

黑布與白布各一塊、刻度尺一支、 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 、 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 與 $2 \times 4 \text{ cm}^2$ 白紙標誌各一片、五元與十元硬幣各一枚，以及16#(孔徑：1.19 mm)、20#(孔

徑：0.84 mm)、30#(孔徑：0.58 mm)、40#(孔徑：0.42 mm)等四種濾網各一片(尺寸： $15 \times 15 \text{ cm}^2$)。

為了增強圖像主體物與背景的明暗對比，在拍攝主體物時分別以黑布或白布為背景襯布。當拍攝刻度尺、白紙標誌與硬幣等屬於淺色圖像時，採用黑布背景，而在拍攝濾網圖像時，則採用白布背景。刻度尺用於檢定圖像像素放大倍率與實際尺寸的換算參數，白紙標誌與硬幣等用於檢驗與校正圖像像素與實際尺寸的準確度。

2.2 試驗方法

整體的試驗分析過程如圖1。

2.1.1 試驗裝置

(1) 硬體配置：簡便型數位顯微鏡一台(Dino Lite 公司產品，130 萬像素，放大倍率：10~200 倍)；個人電腦一台(記憶體 512MB 以上)。

(2) 軟體配置：數位顯微鏡附屬的影像擷取軟體與 Matlab 軟體。

將簡便型數位顯微鏡以 USB 連接個人電腦，安裝妥附屬的影像擷取軟體後，即可分別拍攝得刻度尺、白紙標誌、硬幣與濾網的原始圖像，列如圖2，再應用 Matlab 的影像處理工具箱(image processing toolbox)撰寫程式，檢測分析圖像像素與實際尺寸的換算參數，以及濾網的網目數與網目密度。

2.1.2 試驗方法

(1) 圖像處理方法

首先將簡易型數位顯微攝影機拍攝得之圖像轉換為灰度圖像後，分別進行中值濾波去除雜訊、增強圖像明暗對比與二值化處理。經歷過前述圖像處理方法後，即可獲得白紙標誌、硬幣與濾網等的二值化圖像，列如圖3。這些二值化圖

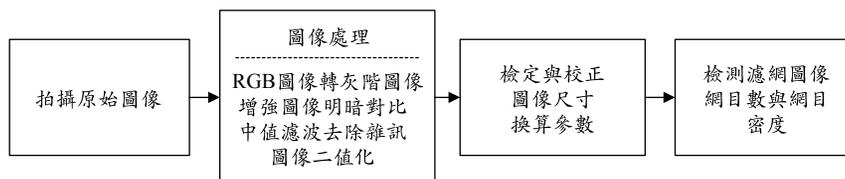


圖1 試驗分析流程

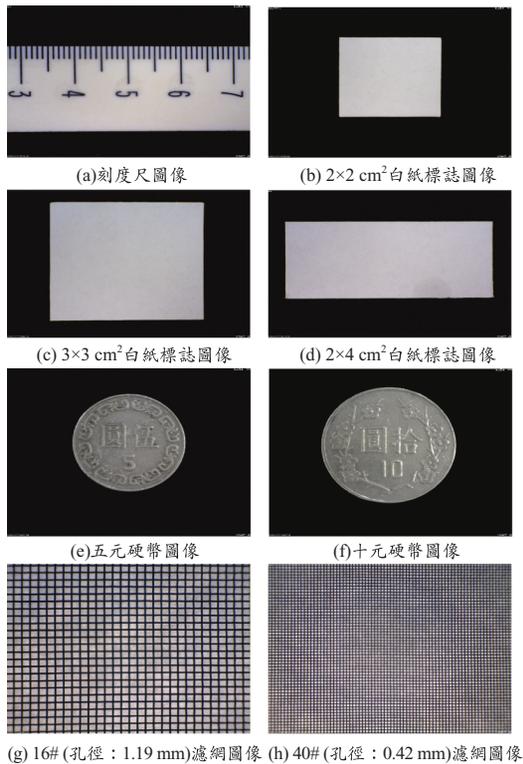


圖 2 原始圖像

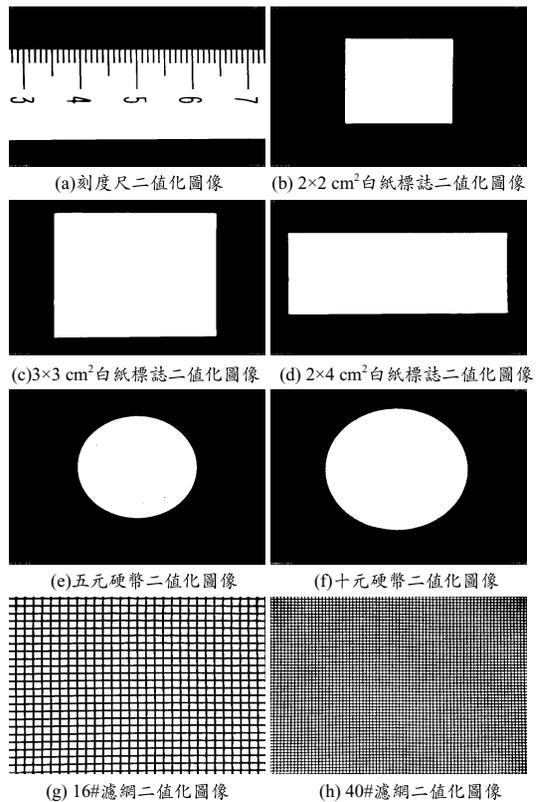


圖 3 二值化圖像

像的共同特徵是白色區塊分別表示被拍攝主體物的形體，因此，只要計算得二值化圖像的白點像素數目總和，經過換算即可推算得主體物的面積。換言之，濾網的網目可由計算濾網二值化圖像的白點像素數目來決定，進而推算得濾網的網目密度。

本文引用的圖像處理原理與方法，例如：彩色圖像轉換灰階圖像、中值濾波法去除圖像雜訊、圖像增強法增強圖像明暗對比，以及圖像的二值化處理等，讀者可參考張兆禮等[6]、李輝等[7]、王勇智[8]與 Gonzalez *et al.* [9]等人的著作，本文不予贅述。這些圖像處理方法的程序均完整呈現在 Matlab 影像處理工具箱的庫存函數裡，可以直接撰寫程式呼叫應用，例如：rgb2gray、im2bw、graythresh、medfilt2、adapthisteq、imadjust、imcrop 等，細節讀者可參考 Matlab 影像處理使用手冊[10]。

(2) 檢定與校正圖像像素與實際尺寸的換算參數

由於簡易型數位顯微鏡不似價格高昂的電子顯微鏡，無法準確地調整與設定圖像放大倍率，因此，我們先以拍攝刻度尺圖像中的刻度尺長度，來檢定與校正圖像像素的正確放大倍率，並用 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 白紙標誌圖像計算出圖像像素與實際尺寸的換算參數，然後再以 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 、 $2 \times 4 \text{ cm}^2$ 白紙標誌與五元、十元硬幣等圖像來檢驗換算參數的準確度。一旦圖像像素與實際尺寸的換算參數檢定確認無誤後，即可依前述圖像處理方法計算得濾網二值化圖像的白點像素數目來推算網目數與網目密度。

Dino Lite 簡便型數位顯微鏡拍攝得的圖像最大像素解析度為 1024×1280 像素(圖像的總像素 = $1024 \times 1280 = 1,310,702$ 像素)，本文依此解析度進行試驗分析。我們以 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 的白紙標誌

表 1 圖像檢測的準確度分析

| 檢驗形狀 | 實際面積(cm ²) | 圖像換算面積(cm ²) | 誤差(%) |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| 3×3 cm ² 正方形 | 9.000 | 9.085 | 1.033 |
| 2×4 cm ² 長方形 | 8.000 | 7.999 | 0.013 |
| 五元硬幣(直徑=2.15 cm) | 3.631 | 3.582 | 1.349 |
| 十元硬幣(直徑=2.55 cm) | 5.107 | 5.396 | 2.369 |

註：圖像解析度 1280x1024 像素；誤差 = $\frac{\text{圖像換算面積}-\text{實際面積}}{\text{實際面積}} \times 100\%$ 。

圖像(實際面積 = 4 cm²)來確定圖像像素與實際尺寸的換算參數，即

$$\text{尺寸換算參數}(R_f, \text{像素}/\text{cm}^2) = \frac{W_{2 \times 2}}{4 \text{cm}^2} \dots\dots(1)$$

式中 $W_{2 \times 2} = 2 \times 2 \text{ cm}^2$ 白紙標誌二值化圖像的白點像素總和。

由(1)式，可用下式分別計算 3×3 cm²、2×4 cm² 白紙標誌與硬幣圖像的計算面積

$$\text{白紙標誌與硬幣的計算面積}(\text{cm}^2) = \frac{W_x}{R_f} \dots\dots(2)$$

式中 W_x = 主體物(白紙標誌或硬幣)二值化圖像中的白點像素總和。

由(2)式計算得到的面積與實際面積比較，即可檢驗(1)式的準確度。

另外，也可由(1)式的結果，計算每張圖像(1024×1280 像素)的等值面積(cm²)，即

$$\text{每張圖像的等值面積}(\text{cm}^2) = \frac{1024 \times 1280}{R_f}$$

(3) 計算濾網圖像的網目數與網目密度

$$\text{濾網網目數} \frac{W_{net}}{R_f} \times \frac{1}{D_{net}^2} \dots\dots\dots(3)$$

式中 W_{net} = 濾網二值化圖像中的白點像素總和， D_{net} = 濾網單一網目的標稱孔徑(mm)。

濾網的網目密度以人工測量時，一般取 10×10 cm² 面積的濾網，計量該面積內的網目總數。應用圖像來檢測時，若仍採用 10×10 cm² 面積來推算，則將因攝像距離過遠而無法檢測小孔徑濾網，因此，我們採用 2×2 cm² 面積的網目數目來計算濾網的網目密度，即

$$\text{網目密度} = \frac{N_{2 \times 2}}{4} \dots\dots\dots(4)$$

式中 $N_{2 \times 2}$ = 等值於 2×2 cm² 面積之濾網二值化圖像中的白點像素總和。

三、試驗結果分析與討論

3.1 圖像檢測的準確度分析與討論

圖像像素與實際尺寸換算參數為後續進行檢測濾網圖像網目數與網目密度的重要參數，為確保換算參數的可靠性，我們以 3×3 cm²、2×4 cm² 白紙標誌與硬幣的圖像，應用(1)、(2)式來檢驗圖像像素與實際尺寸換算參數的準確度，試驗結果列如表 1。

表 1 顯示以(1)、(2)式計算圖像中主體物(白紙標誌與硬幣)的面積與實際面積，兩者間的誤差均小於 2.5% 以下，由此可以推定以(1)式計算得到的圖像像素與實際尺寸間之尺寸換算參數是可以被接受的，後續進行的濾網網目數與網目密度檢測，即依據此尺寸換算參數來推算。表中圓形誤差較大，乃是因硬幣邊緣呈現鋸齒狀，因而影響圖像像素值的辨識計算。

3.2 濾網網目密度分析與討論

依據前述計算得之尺寸換算參數與應用(3)、(4)式來檢測濾網圖像網目與網目密度，試驗結果列如表 2。

表 2 顯示由圖像推算得四種孔徑濾網的網目數與人工計算的誤差均維持在 5% 以下，此誤差為工程界可接受的範圍。根據網目數與尺寸換算參數來推算得 2×2 cm² 面積濾網的網目密度與人工計算的誤差也在 5% 以下。此表亦顯示圖像

表 2 濾網圖像之網目數與網目密度

| 濾網編號 | 16#濾網 | 20#濾網 | 30#濾網 | 40#濾網 | 放大率 |
|------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 孔徑(mm) | 1.19 | 0.84 | 0.59 | 0.42 | 10.9 倍 |
| 白點像素面積(cm ²) | 9.93 | 8.97 | 8.95 | 8.83 | |
| 圖像檢測網目數 | 745 | 1271 | 2570 | 5006 | |
| 人工計算網目數 | 754 | 1292 | 2646 | 4896 | |
| 誤差(%) | 1.19 | 1.63 | 2.87 | 2.25 | |
| 4 cm ² 面積之圖像網目密度 | 41.32 | 70.49 | 142.55 | 277.72 | |
| 4 cm ² 面積人工計算網目密度 | 42.25 | 72.25 | 144.00 | 272.25 | |
| 誤差(%) | 2.20 | 2.44 | 1.01 | 2.01 | |
| 白點像素面積(cm ²) | 3.42 | 3.00 | 2.98 | 2.89 | 18.1 倍 |
| 圖像檢測網目數 | 242 | 425 | 856 | 1637 | |
| 人工計算網目數 | 252 | 432 | 868 | 1629 | |
| 誤差(%) | 3.97 | 1.62 | 1.38 | 0.49 | |
| 4 cm ² 面積之圖像網目密度 | 40.45 | 71.15 | 143.20 | 273.77 | |
| 4 cm ² 面積人工計算網目密度 | 42.25 | 72.25 | 144.00 | 272.25 | |
| 誤差(%) | 4.26 | 1.52 | 0.56 | 0.56 | |

註：圖像解析度 1280×1024 像素。誤差 = $\frac{|\text{圖像檢測值} - \text{人工計算值}|}{\text{人工計算值}} \times 100\%$

的放大倍率會影響及檢測的準確度，例如：大孔徑濾網(16#濾網)採用高倍率(18.1 倍)放大圖像時，計算得網目數與網目密度之誤差，均較低倍率(10.9 倍)圖像計算得數值為大，但是，小孔徑濾網(40#濾網)採用高倍率(18.1 倍)放大圖像計算得到的數值，誤差反而較小。簡言之，高倍率放大圖像不適用於檢測大孔徑濾網的網目數與網目密度，但較適用於檢測小孔徑濾網；大孔徑濾網宜用低倍率圖像來檢測。至於要如何明智且最佳地選擇圖像的放大倍率，則尚需進一步的試驗釐清。

四、結 論

本文以簡便型數位顯微鏡拍攝得排水濾網圖像後，再應用圖像處理技術與開發的檢測分析程式，達到快速且準確地自動檢測濾網網目數與網目密度的目標。圖像檢測分析程式的撰寫則直接應用 Matlab 影像處理工具箱中的圖像轉換、中值濾波除噪、圖像增強、二值化等圖像處理庫存函數。為確保應用圖像檢測濾網網目數與網目密度的可靠性，本文分別以 3×3 cm²、2×4 cm² 白紙標誌與五元、十元硬幣的圖像來檢驗圖

像檢測結果的準確度。試驗結果顯示檢測圖像中主體物(白紙標誌與硬幣)的面積與實際尺寸間的誤差均小於 2.5% 以下。另外，與人工計算比較，檢測 16#、20#、30#、40# 等濾網圖像得到的網目數與網目密度，誤差也在 5% 以下，此誤差為工程界可接受的範圍，顯見採用此方法檢測得到的結果甚為可靠。因此，應用在實務上將可取代傳統的人工作業，省時省力，具有實用價值。

五、參考文獻

1. 官傳波，2004，利用數字圖像分析方法測定緯編針織物的密度，檢測，V.12，p.40-41。
2. 顧平、管辛，2006，紡織產品計算機圖像處理中特徵值的提取及其應用，毛紡科技，V.6，p.3-6。
3. 張長勝、司傳、段業峰，2006，用圖像處理技術快速檢測機織物的經緯密度，毛紡科技，V.2，p.46-49。
4. 李曉慧、王踰存、劉麗杰、杜業強，2006，基於數學型態學的織物密度分析方法，天津工業大學學報，V.25(5)，p.31-34。
5. 周果、李湘宁、徐歡、黃中和，2007，基於

- 攝像頭採集和圖像處理的機織物密度檢測，上海理工大學學報，V.29(2)，p. 171-174。
6. 張兆禮、趙春暉、梅曉丹，2001，*現代圖像處理技術及 Matlab 實現*，人民郵電出版社，北京。
 7. 李輝、蔣秀明、高殿斌、王國瑞，2003，*Matlab 語言在數字圖像中值濾波中的應用研究*，天津工業大學學報，V.22(1)，p. 87-88。
 8. 王勇智，2005，*數字圖像的二值化處理技術探究*，湖南理工學院學報，V.18(1)，p. 31-33。
 9. R. C. Gonzalez, R. E. Woods and S. L. Eddins, 2004, *Digital image processing using Matlab*, Prentice-Hall, New Jersey.
 10. MathWorks, 2004, *Image processing toolbox for use with Matlab, user's guide*, MathWorks Inc., Prentice-Hall, New Jersey.

收稿日期：民國 97 年 7 月 30 日

修正日期：民國 97 年 8 月 28 日

接受日期：民國 97 年 9 月 5 日