

紙張影像質地分析之研究(I)並生矩陣法*

王益真^{1,3)} 翁仲村²⁾

摘要

紙張交織的評估使用最多的方法是應用紙張質量或光學密度的變異係數, 即一般所謂交織指數。交織指數評估紙張交織只是以紙張影像的吸光度變異進行之, 但對於變異範圍的空間關係無法掌握。本研究探討以二級統計法即並生矩陣法來顯示像素灰階的空間相關性, 計算灰階變異的或然率, 再導出影像質地參數如能量、雜亂度、對比、相關及均勻度等特徵, 作為紙張交織定量評估之依據。本研究結果顯示, 藉著並生矩陣導出的特徵參數評估紙張交織, 短纖紙漿抄造的紙較長纖者交織較佳。隨抄紙沉降時間的增加, 纖維架凝趨勢增加, 並生矩陣參數顯示交織有惡化情形。試驗比較此二級統計法與吸光度變異法對紙張交織的判別能力, 並生矩陣法有較多參數作為判定, 其辨別能力較強並能發揮其對紙張基重變異性空間關係的評估功能。

關鍵詞: 紙張交織、影像分析、手抄紙、並生矩陣、質地分析。

王益真、翁仲村 1997 紙張影像質地分析之研究(I)並生矩陣法。台灣林業科學 12(1): 61-70。

Textural Analyses of Paper Images (I) The Cooccurrence Matrix Method

I-Chen Wang^{1,3)} and Tsun-Tsuen Ong²⁾

【 Summary 】

The most frequently used method of paper formation evaluation is by formation index, or coefficient of variation (COV) of mass or optical density variation of the paper. The method, however, tells nothing about the spatial relationship among the variations. This study aims to develop an effective 2nd order statistical method, the cooccurrence matrix approach, capable of providing information on gray tone variation of the pixels with respect to their neighbors. The probabilities of tonal variation were used to calculate parameters such as energy, entropy, correlation, contrast, and homogeneity, etc. These were then used for the evaluation of paper formation. The results suggest that comparable results were obtained with COV of light absorbance and the cooccurrence matrix methods. Comparing the results of light absorbance COV with the cooccurrence matrix suggests that the latter can differentiate more effectively

1) 台灣省林業試驗所木材纖維系, 台北市南海路53號 Division of Wood Cellulose, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nan-Hai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

2) 萬有紙廠股份有限公司, 雲林縣北港鎮民樂路265號 Ban Yu Paper Mill Co. Ltd., 265 Min-Lo Rd., Peikang, Yunlin County, Taiwan, ROC.

3) 通訊作者 Corresponding author

1996年8月送審 1996年11月通過 Received August 1996, Accepted November 1996.

* 本研究承國科會專題研究計畫(NSC81-0409-B-054-502)經費補助, 特予致謝。

among papers of similar basis weight variations. Textural analysis has the ability of establishing relative spatial variations of the gray levels of the image pixels, and hence is more powerful than the traditional light absorbance method.

Key words : paper formation, image analysis, handsheet, cooccurrence matrix, spatial gray level correlation.

Wang, I-C., and T-T. Ong. 1997. Textural analyses of paper images (I) the cooccurrence matrix method. *Taiwan J. For. Sci.* 12(1): 61-70.

一、緒言

紙與人類生活密不可分、鉅細靡遺。造紙業者為爭市場一席之地，均盡力改進紙的品質。紙張品質的好壞和紙張的應用性質有密切的關係，而紙張的交織是紙張均勻與否的指標，也就是紙張品質好壞的一種表示法，所以改善紙張交織為造紙業界的首要目標。

由於紙匹可以視為是由許多不同形狀、大小及重量的纖維膠羽所組成，因此紙張有局部到大範圍的基重分布變化。纖維由稀薄的懸浮液經沉積、濾水、乾燥而形成紙匹，每一個製程控制因子的改變對紙張的品質有重大的影響。纖維本身的特性對紙張性質的影響也頗大。紙張交織即為紙張單位面積內之質量或基重分布及變異，此一紙張結構因素對紙張性質的均一性及多種使用性質均有密切關係。紙張交織的測定，傳統是迎光目視，檢查紙中纖維絮凝團的大小及分布均勻性。此法雖然迅速簡便，但難以客觀及量化。以儀器檢測紙張交織，根據的是紙張質量密度分布。獲取此項資訊必須仰賴貝他射線或軟性 X 光成影法，蓋紙張中的纖維、填料及其他添加劑對放射線的吸收係遵循 Lambert-Beer 定律。放射線成影雖然能提供紙張質量密度分布的資訊，但以設備難以取得，成影費時費事，應用上有其限制。紙張經可見光穿透所成之影像提供紙張光學密度分布的資訊。紙張光學密度受紙張本身及製程許多因素影響，如漿料類別、紙張密度或孔隙度、鍵結強度、填料添加及壓光處理等影響，使不同紙張間交織的比較存有疑義。惟以可見光穿透紙張成像之法簡易，許多紙張交織的影像分析儀仍採用透光法，蓋質量密度與光學密度對大部份紙樣而言，兩者有良好的相關性。

影像分析程序的應用遍及生物、醫學、航測、探勘等，相當廣泛。影像分析的方法有多種，其應用上的評價也優劣互見 (Haralick, 1979)。質地 (texture) 是用來偵測影像中物體或區域的一種重要特徵。雖然對質地有多種描述，例如：細緻的、平滑的、條紋狀的、顆粒狀的、粗糙的、不規則的、混亂的等，但影像質地尚無很正式、精確的定義。一般所謂質地是指物體表面灰階變化的特徵。在電腦影像分析，影像應是非圖像 (nonfigurative) 而有網眼狀 (cellular) 結構，質地則是一種有組織的區域現象，並可分解為兩種基礎特質：1) 組成影像質地的基本成分，包括基本色 (灰) 階 (tonal primitives) 與局部性質 (local property)；2) 組成影像質地基本成分間的空間相關性或交互作用，即基本色階單元的空間組織 (spatial organization)。基本色階單元一般可用局部的平均色階、最大或最小色階來描述，因此與局部性質息息相關。影像的質地可用其基本單元的形狀、數量、空間組織或基本單元的配置關係說明 (Haralick, 1979)。

影像分析中量測的控制變數是量測面積和像素點大小的選擇，二者對量測有重大影響。依字面解釋可知量測面積是量測時試樣的大小，若是測定小範圍紙樣的基重變化，則測試面積不宜過大，否則小範圍的基重變化會被大範圍基重變化掩蓋。反之，若測定大範圍基重變化，測試紙樣的面積不可過小。所以紙樣的測試面積須視需要來做決定，例如量測小範圍基重變化，量測面積必須大到能涵蓋紙張中的不同尺寸絮凝的變化，但不可以大到將大範圍的基重變化也涵蓋了。因此，Sara (1978)、Bergh and Luner (1983)、Cresson (1983) 與 Jordan and Nguyen (1988) 等建議測量紙張小範圍的基重變化時，適合的面積邊長約為 50 ~ 100 mm。

量測面積是由像素點所構成，點的大小對量測有重大而直接的影響。像素點若過小，例如比纖維寬度小，則基重變化的訊號會被纖維寬度變化掩蓋。若像素點太大，則比像素點面積小的絮凝可能含在像素點內而無法測量出。上述多位研究者認為像素點較絮凝大對量測並沒有好處。一般認為像素點大小的最佳選擇應在 0.1 ~ 1 mm 的範圍內 (Sara, 1978; Bergh and Luner, 1983; Cresson, 1983)。

紙張影像作交織評估一般採透光度變異係數表示紙張之交織指數，其衍生或類似方法亦有直接以影像灰階的變異度或影像灰階分布頻率與級數之比值 (M/K 交織指數) 等。這些分析法未探討各影像像素點與周邊像素間的空間分布關係，對於隨機或周期性的灰階變異無判別力。以影像像素點的灰階變化所衍生的二級統計法為本研究的主要目的。由於質地是一種在影像局部區域中像素點灰階值彼此空間分布的相關性，所以 Julesz (1977) 首先將灰階的空間相關並生統計法應用在質地偵測的實驗中。Haralick (1979)、Haralick 與 Shanmugam (1973) 則使用影像的像素點間彼此距離與角度的相關性，導出二維灰階的並生矩陣。1980 年初，Cresson (1983) 將之應用於紙張交織。藉影像像素點的灰階空間分布所衍生出來的方法還有許多不同的類型 (Davis *et al.*, 1979 ; Sun and Wee, 1983)。此種衍生性之影像分析法雖有較周延之辨識力，但使用多種特徵參數，解釋上有複雜不便之缺點，最近 Bernie 與 Douglas (1996) 又另創以快速傅立葉轉換之頻率分析為基礎之紙張絮凝交織指數，認為較傳統及二級統計法為優。

本研究的目的是利用數位化影像分析系統配合廠商發展一套並生矩陣的紙張交織二級統計方法，配合已建立的一級統計方法，評估手抄紙試樣的交織。希望能由本研究的結果能建立一套完整紙張交織二級統計方法，輔佐原先之交織指數法。惟因試驗條件限於使用標準手抄紙，無法模擬抄紙機；且試驗未能採用較準確的放射線成影，同時並生矩陣質地分析軟體也係首次開發，尚難謂周延完美。

二、材料與方法

(一) 試驗材料

市售漿板：以長纖漂白牛皮漿板 NBKP 和短纖漂白牛皮漿板 LBKP 散漿後抄造手抄紙試樣。

(二) 影像分析系統及周邊配備係由下列組件構成：

1. 電視 CCD 黑白攝影機 (Hitachi CCTV camera model No. HV-720U)
2. 巨接鏡頭 (Cosmocar television lens 25 mm macro lens, f 1:1.4)
3. 二倍鏡 (2x TV extender, Cosmocar)
4. 攝影架 (copy stand)
5. 照光箱 (Fotodyne VariQuest 100 light box, fluorescent bulb, 120 V 60 Hz)
6. 監視器 (Sony Trinitron PVM-1342Q color video monitor)
7. 影像介面卡 (Visionetics International VFG)
8. 個人電腦 (386-25): 配備硬碟、數值運算器、光學滑鼠
9. 自調穩壓器 (Jinn J-500 automatic voltage stabilizer, 110 V 60 Hz)
10. 數位影像記錄軟碟 (Hitachi video floppy sys. VX-52A)
11. 影像分析軟體 (源浩 LV1-plus 和 Ifs)
12. 顯微鏡 (Nikon SM-10)
13. 熱感列印機 (Sony UP-850)

(三) 試驗方法

1. 抄紙：

試驗紙樣按照 CNS 11212 手抄紙抄造試驗法抄造，但變化沉降時間。試驗控制的變因如下：

- (1) 漿料游離度：依 CNS 12495 紙漿叩解試驗法，用荷蘭式打漿機打漿，建立打漿曲線後，將試驗漿料打到所需的游離度。保持漿料游離度在 450 ± 25 mL CSF 之間。游離度係依照 CNS 11211 紙漿游離度測定法測定。
- (2) 沉降時間：抄紙時，於攪拌器攪拌後，俟水面稍靜止，計時控制沉降時間後再開閘抄紙。沉降時間的控制分別是 0

秒、30秒、60秒。

- (3) 其他因素：漿料濃度均以 0.3%抄造，排水維持定速。溫度為室溫操作。

2. 紙張基本性質：

紙樣依 CNS 1351 標準方法在溫度 20 ± 1 °C、相對濕度 65 ± 1% 的溫控室調濕，測定紙張基重、厚度、白度、不透明度、透光度、吸光度、光散射係數等。

- (1) 基重 (g/m²)：依 CNS 11291 手抄紙物理性質測試法測定。
- (2) 厚度 (mm)：依 CNS 11291 手抄紙物理性質測試法測定。
- (3) 白度、不透明度、透光度、吸光度及散射係數等紙張光學性質以 Data-color 2000 紙張光學測定儀所附之 papyrus 電腦程式測定，此軟體是依 ISO 標準所設計。

3. 紙張交織的量測與評估：

紙樣置於照光箱中央，覆蓋以中央有一 5 公分見方開口的黑色不透光紙板，並在紙樣與影像系統的攝影機之間放置一個內徑八公分、內面塗黑之圓紙筒，以遮蔽外界光源，使外界光源不致影響試驗結果。隨後操縱攝影機攝取紙樣透光後的影像，並存入磁碟中。

以紙樣影像中央約 3 公分見方的範圍用影像分析軟體處理。由測試範圍內像素點之灰階值測定吸光度變異係數，並計算並生矩陣，進行紙張的質地分析。變異係數是群體某特徵分散程度的統計數，定義是其標準差與平均值的百分比。紙張吸光度變異係數即一般所謂交織指數 (FI)，為傳統判定紙張優劣的重要參數。

4. 並生矩陣法

影像圖形通常是以二維陣列方式儲存於電腦，因此其影像或圖形的訊息是以兩變數 (X, Y) 的方程式表示。若 L_x = {1,2,3...N_x}，L_y = {1,2,3...N_y} 分別表示 X (水平方向) 和 Y (垂直方向) 空間定義域，則 N_x × N_y 為一像素點，且影像 I 是由這些特定灰階值 G ≡ {1,2...N_g} 的像素點所組成之方程式：

$$I: N_x \times N_y \rightarrow G$$

並生矩陣法是以空間位置相鄰之像素點間彼

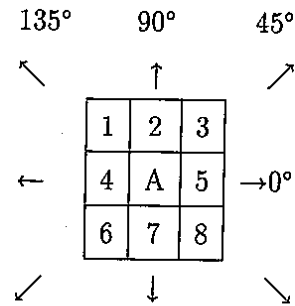


Fig. 1. Matrix showing the relationship between pixel A and its 8 neighboring pixels. For A, the pixels along the 0 degree angle are 4 and 5; along the 45 degree angle are 3 and 6, and so forth.

此的灰階變化 (spatial gray level variation) 機率來模擬影像質地的方法。由正方形影像 I 各像素點間的距離與角度的相對關係，可以定義四個相鄰像素點灰階並生機率矩陣，如 Fig. 1。

Fig. 1 定義 P_{ij} 是影像上間隔距離為 d，灰階分別為 i 與 j 的二個像素點之灰階相對發生機率；則在四個方向，即水平、垂直、及左、右對角，會產生四個並生矩陣。

這四個並生矩陣分別以數學式表示如下：

水平方向： $P_H (i, j, d, 0^\circ) = \# \{ [(k, l), (m, n)] \in (L_y \times L_x) \times (L_y \times L_x) \mid k - m = 0, |l - n| = d, I(k, l) = i, I(m, n) = j \}$

左對角角： $P_L (i, j, d, 45^\circ) = \# \{ [(k, l), (m, n)] \in (L_y \times L_x) \times (L_y \times L_x) \mid k - m = d, l - n = -d, \text{ or } (k - m = -d, l - n = d), I(k, l) = i, I(m, n) = j \}$

垂直方向： $P_V (i, j, d, 90^\circ) = \# \{ [(k, l), (m, n)] \in (L_y \times L_x) \times (L_y \times L_x) \mid k - m = d, l - n = 0, I(k, l) = i, I(m, n) = j \}$

右對角角： $P_R (i, j, d, 135^\circ) = \# \{ [(k, l), (m, n)] \in (L_y \times L_x) \times (L_y \times L_x) \mid (k - m = d, l - n = d), \text{ or } (k - m = -d, l - n = -d), I(k, l) = i, I(m, n) = j \}$

式中#是矩陣中之項數。而因 P (i, j, d, a) = P (j, i, d, a)，並生矩陣具對稱性。由 Fig. 2 的例子，

可簡單說明上述第一個數學式所代表的意義：

經由第一個數學式 $PH = \# \{[(k, l), (m, n)] \in (Ly \times Lx) \times (Ly \times Lx) \mid k - m = 0, 1 - n = d\}$ 所產生的水平並生矩陣如 Fig. 3。

例如，設 Fig. 4(a)是有特定灰階值從 0 至 3 的一個 4×4 數位影像，(b)、(d)、(c)、(e)則分別是距離為 $d = 1$ ，角度為 0° 、 90° 、 45° 、 135° 的橫、縱、左、右對角線之或然率並生矩陣。

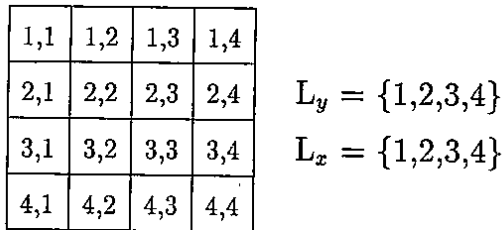


Fig. 2. $A4 \times 4$ digital image represented by a coordinated matrix.

$\{(1,1)(1,2), [(1,2), (1,1)]\}, \{(1,2)(1,3), [(1,3), (1,2)]\}$
 $\{(1,3)(1,4), [(1,4), (1,3)]\}, \{(2,1)(2,2), [(2,2), (2,1)]\}$
 $\{(2,2)(2,3), [(2,3), (2,2)]\}, \{(2,3)(2,4), [(2,4), (2,3)]\}$
 $\{(3,1)(3,2), [(3,2), (3,1)]\}, \{(3,2)(3,3), [(3,3), (3,2)]\}$
 $\{(3,3)(3,4), [(3,4), (3,3)]\}, \{(4,1)(4,2), [(4,2), (4,1)]\}$
 $\{(4,2)(4,3), [(4,3), (4,2)]\}, \{(4,3)(4,4), [(4,4), (4,3)]\}$

Fig. 3. Horizontal cooccurrence matrix with distance $d=1$ for a 4×4 matrix.

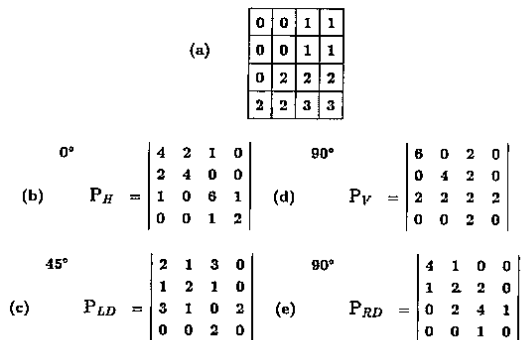


Fig. 4. (a) $A4 \times 4$ digital matrix with a gray scale distribution from 1 to 3; (b), (c), (d) and (e) are its probability cooccurrence matrices with distance, d , equal to 1 and angles of 0° , 90° , 45° and 135° degrees, respectively. (According to Haralick and Shanmugan, 1973).

由這些或然率並生矩陣可以初步判斷影像質地的好壞。例如橫向或然率並生矩陣(b)的主對角線的組成項為零，表示在水平方向沒有鄰接像素點具有相同灰階，或相同灰階像素發生的機率低，亦即顯示水平方向的灰階變化頻繁，質地粗糙。反之，如矩陣的主對角線的組成項不為零，表示在水平方向的像素點灰階變化較少，則試樣影像的質地較細緻。

同時用繪圖軟體可將並生矩陣的數據畫成二度和三度空間的質地圖。由質地圖可比較或然率峰頂之高低和非零數據的分佈面積如 Fig. 5。此一分析軟體係應試驗需要，由作者與影像分析軟體公司討論協商開發，可供類似分析功能引用。

5. 並生矩陣的特徵參數

藉著這些或然率並生矩陣，經正規化後推導出一些特徵參數可以用來說明質地的特性，其流程如 Fig. 6。

由 Haralick and Shanmugam (1973)所導出的十四個質地分析特徵參數中，經比較後選取其中五個特徵參數，對紙張質地分析有判別能力，簡述如下：

(1) 能量特徵參數

能量 (energy) 是矩陣中各組成項分散性的測量，也是質地均勻性的一項測量。若是質地影像是經由隨機程序所獲得，則矩陣中任何一項出現的或然率應當相等。也就是一個所有像素點的

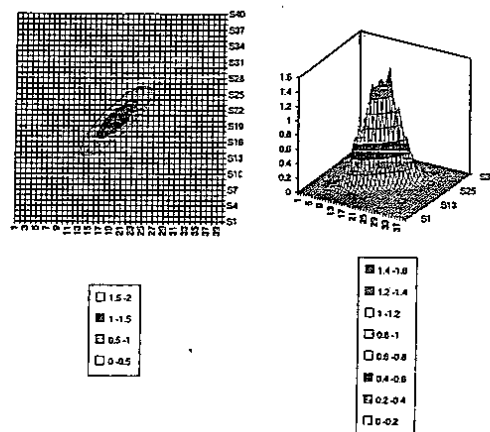


Fig. 5. Distribution of probabilities in a cooccurrence matrix from a typical transmitted light image of a paper specimen.

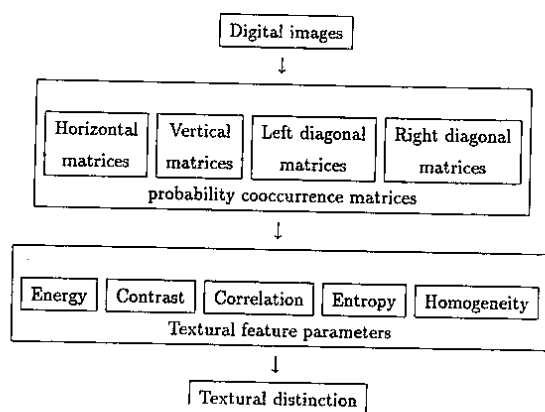


Fig. 6. Flow chart for textural analyses (Cresson, 1983).

灰階值都相同的均勻影像，它的能量特徵參數應該是等於 1。數學表示式為：

$$\text{energy} = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \left(\frac{P(i, j)^2}{R} \right)$$

式中：P 是發生之或然率，R 是所發生之總次數， N_g 是影像所含灰階總數， i 、 j 分別代表影像上的二個像素點之灰階值。因此，能量特徵參數值愈高，表示質地愈均勻，亦即紙張交織愈好。

(2) 對比特徵參數

對比 (contrast) 是描述像素點灰階的變化程度。一個有均勻質地的影像，在並生矩陣中，會有較少數值非零的項，且此項會集中在矩陣的主對角線周圍。若質地不均勻，像素點的灰階經轉換後，非零項的數量和數值大小將會增加。數學表示式：

$$\text{contrast} = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left\{ \sum_{|i-j|=n} \left(\frac{P(i, j)}{R} \right) \right\}$$

因此當對比特徵參數值愈高，質地愈不均勻，表示紙張交織愈差。

(3) 相關性特徵參數

相關性 (correlation) 是測量影像中灰階線性與結構內容的特徵參數。其測量像素點灰階間的線性相關性，相關性特徵參數值愈低，則質地愈均勻，亦即紙張交織較佳。

$$\text{correlation} = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} [ijP(i, j) / R] - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y}$$

式中的 μ_x 、 μ_y 為平均數； σ_x 、 σ_y 為 P_x 和 P_y 的標準差。

(4) 雜亂度特徵參數

雜亂度或熵 (entropy) 特徵參數表示影像質地的複雜程度或非均勻度。若並生矩陣中的組成項相等，表示像素點彼此間的灰階的發生機率相等。若質地複雜，則雜亂度的值偏大。反之，若影像均勻，雜亂度值相對變小。

$$\text{entropy} = - \sum_i \sum_j P(i, j) \log [P(i, j)]$$

雜亂度的值愈低，表示質地愈均勻，紙張交織較佳。反之則交織惡劣。

(5) 均勻性特徵參數

均勻性 (homogeneity) 是描述影像的均勻度。若並生矩陣中只有一項時，即影像僅由一種具有同一灰階的像素點所組成，均勻性會達到最大。均勻性特徵參數值愈高，表示質地愈均勻，紙張交織較佳。

$$\text{homogeneity} = \sum_{ij} \frac{1}{1+(i-j)^2} P(i, j)$$

綜上所述，紙張影像特徵參數與紙張交織的關係可歸納如 Table 1。

三、結果與討論

(一) 試樣平均基重和吸光度之關係

紙樣採市售 LBKP 和 NBKP 散漿並調整游離度後抄造。調整游離度是因打漿後，纖維細胞壁帶化，會增加光散射，影響紙張交織的評估結果 (王益真等, 1994; Bergh and Luner, 1983)。漿料的游離度控制在 425 mL CSF 左右，使游離度對交織的相對影響降低。漿料抄成不同基重手抄紙後，作紙樣基重對吸光度的檢量線，作為實際基重相對於透光後影像灰階間相關性的依據。

Figs. 7, 8 分別為 LBKP 和 NBKP 紙樣基重和吸光度的檢量線。且由迴歸分析求得基重和吸光度的迴歸分析方程式如下：

$$\begin{aligned} \text{LBKP: } A &= 0.00609B + 0.07855 & R^2 &= 0.98569 \\ \text{NBKP: } A &= 0.00456B + 0.00238 & R^2 &= 0.98939 \end{aligned}$$

式中：A 為吸光度，B 為試樣平均基重， R^2 為判定係數。

Table 1. Relationship between textural parameters and paper formation.

Textural parameter	Value of parameter	Paper formation
Energy	higher	better
	lower	poorer
Contrast	higher	better
	lower	poorer
Correlation	higher	better
	lower	poorer
Entropy	higher	better
	lower	poorer
Homogeneity	higher	better
	lower	poorer

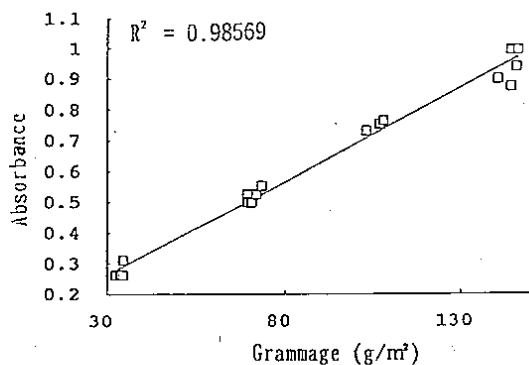


Fig. 7. The regression line of LBKP handsheet average grammage vs. light absorbency.

(二) 並生矩陣評估紙張交織

利用 LBKP 和 NBKP 未上膠、基重為 60 g/m² 範圍的紙樣作並生矩陣紙張交織評估，交織評估的控制變數為沉降時間，分別為 0、30、60 秒。Table 2 為紙樣的基本性質。

由 Table 2 明顯的可以看出紙樣吸光度變異係數是隨著沉降時間增加而增加。利用變異係數，亦即交織指數，這種一級統計的方法數值愈高，紙張交織愈差。一般均認為短纖的紙張交織在相同抄造條件下較長纖的紙張交織佳。再者沉降時間愈長，纖維因攪動後湍流漸減而聚集，絮凝情形較嚴重，所以交織較差。同時紙樣的不透明度與散射係數和纖維間的結合度有密切關係，顯見隨沉降時間加長，纖維緻密程度稍降，散射係數漸增。惟長、短纖間因彼此絡合度有別，散

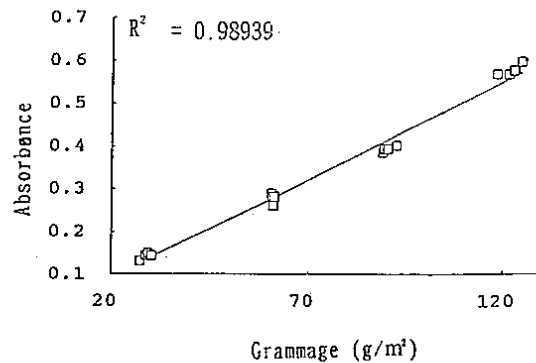


Fig. 8. The regression line of LBKP handsheet average grammage vs. light absorbency.

射係數無法用作交織有效的判別參數。將以上紙樣影像作並生矩陣轉換，轉換後的四組特徵參數平均值如 Table 3。

1. 能量：如 Table 3 所示，能量隨著沉降時間的增加而減少。又兩種漿料在相同沉降時間的條件下相比較，NBKP 能量特徵參數值均比 LBKP 小很多，相差明顯，即使是 LBKP 最低的值也比 NBKP 最高的值要大，而能量越大交織越佳。與交織指數比較，試樣並生矩陣能量參數變化的範圍較交織指數清楚易辨。
2. 對比：若紙張的交織不均勻，則並生矩陣中非主對角線上的項會增加，對比值會提高。試驗的結果，對比值隨著沉降時間增加而增加。即是對比越大交織越差。LBKP 增加的幅度不大，NBKP 卻是明顯的增加。交織指數數值分散幅度於 NBKP 比例上較小，並生矩陣對比參數值於此似有補正的功能。
3. 相關性：相關性是影像線性關係和結構的一種測量。當相關性特徵參數值增高時，表示影像中的結構有大的絮凝存在。相關性是隨著沉降時間增加而呈增加，表示沉降時間增加，纖維絮凝的機會增加，對紙張交織愈不利。起始時 LBKP 與 NBKP 的相關性參數相差明顯，但當沉降時間加長，在 30 和 60 秒兩組中即有相關性參數為等值，顯示沉降時間愈久，對 LBKP 和 NBKP 有著相同的影響。

Table 2. Basic properties of handsheet specimens.

Specimen	Settling time (sec)	Grammage (g/m ²)	Thickness (mm)	Light absorbance COV (%)	Brightness (% GE)	Opacity (%)	Light scattering coeff. (m ² /kg)
LBKP1	0	69.3	0.11	8.39	75.12	90.0	42.83
LBKP1	30	67.8	0.11	8.99	75.16	90.2	44.51
LBKP1	60	68.3	0.11	10.94	75.96	90.8	45.77
NBKP1	0	68.3	0.10	23.33	69.01	75.9	22.20
NBKP2	30	69.6	0.12	25.95	70.45	82.0	28.20
NBKP3	60	70.5	0.13	26.49	69.25	80.9	30.93

Table 3. Textural parameters of paper images after cooccurrence matrices conversion.

Pulp type: Settling time Parameter	LBKP			NBKP		
	0 sec	30 sec	60 sec	0 sec	30 sec	60 sec
Energy (× 10 ⁻³)	7.95	7.00	5.58	4.03	3.48	2.77
Contrast	6.40	6.60	6.81	11.55	13.83	14.03
Correlation	0.81	0.85	0.90	0.86	0.85	0.90
Entropy	5.11	5.26	5.51	5.84	5.98	6.22
Homogeneity	0.38	0.37	0.37	0.30	0.28	0.28
Formation index	8.39	8.99	10.94	23.33	25.95	26.49

- 雜亂度: 雜亂度是隨著沉降時間的增加而增加, 顯示影像愈趨混亂, 亦即交織逐漸變差。在任何處理下, LBKP 的參數值均比 NBKP 小, 顯示 LBKP 紙樣的交織整體上比 NBKP 較佳。但各組處理的間距並不大, 隨沉降時間穩定增加。
- 均勻性: 均勻性特徵參數是測量影像的均勻性。交織愈均勻, 參數值愈高。隨著沉降時間的增加, 參數值逐漸減少, 交織變差。LBKP 沉降時間 30 和 60 秒的參數值相等, NBKP 也有相同的結果, 沉降時間對均勻性特徵參數有一定的影響, 超過一個範圍, 影響即趨於緩和。換言之, 本參數變化範圍過窄, 對紙張交織評估的能力有限。
- 峰頂高度和面積比: 試驗所得的試樣並生矩陣經轉換為立體圖及等高線圖後其峰頂高度和面積比如

Table 4 :

從峰頂高度值看來, 沉降時間愈久, 峰頂高度愈低, 而 NBKP 的值依然比 LBKP 的值小, 顯示其交織比 LBKP 差。用面積比的評估亦是相同的結果, 即交織愈好面積比值愈小, 反之則愈大。峰頂高度代表在特定方向之並生矩陣鄰接像素彼此灰階差別發生的或然率, 峰頂越高, 代表近似灰階發生率高, 也即均勻度高; 非零或然率值一般沿主軸方向呈橢圓形分布, 其面積比越小, 代表影像像素點灰階的分布較緊密, 即變化度較小, 因此也顯示均勻度越高。但這些是經驗法則, 在一般紙樣中應具判識力, 惟在有特殊紙病或影像有規律化形式時, 則峰頂與面積比的變化較難逆料。

Table 4. Peak height and basal area ratios of cooccurrence matrices for images of paper specimens.

Pulp type: Settling time Parameter	LBKP			NBKP		
	0 sec	30 sec	60 sec	0 sec	30 sec	60 sec
Peak height (%)	1.754	1.487	1.267	1.081	0.801	0.623
Areal ratio (%)	0.377	0.402	0.413	0.415	0.421	0.432
FI	8.39	8.99	10.94	23.33	25.95	26.49

Table 5. Cooccurrence matrix parameters of 2 paper specimens with identical light absorbency COV (formation indices).

Parameter Specimen	A	B
Grammage (g/m ²)	74.26	74.50
Formation index (FI)	7.11	7.11
Energy (× 10 ⁻³)	8.54	6.25
Contrast	7.35	7.27
Correlation	0.74	0.86
Entropy	5.05	5.37
Homogeneity	0.36	0.36

綜觀所有的特徵參數值，可以肯定用並生矩陣評估紙張交織應屬可行。由於試驗沉降時間的加長，導致紙張交織的趨於不均勻，由並生矩陣的特徵參數值可以明顯的比較出。至於各項參數對交織的判別能力則由各參數與原始紙張影像灰階變異數迴歸可得梗概。由斜率及判定係數觀察，判別效果不佳的是相關性及均勻度，效果良好的是對比、能量、雜亂度及峰頂高度。

(三) 交織指數相同紙樣之評估

交織指數即紙張吸光度變異係數是除了比周長 (Jordan and Nguyen, 1986)、M/K 交織因子 (Kallmes, 1971)及灰階變異數或標準差等一般常用的紙張交織一級統計方法。惟一級統計方法亦有其缺點，即是無法分辨具有相同基重平均值和變異係數的紙樣影像質地優劣 (Cresson, 1983; Cresson and Luner, 1990)。兩張紙樣，一張具有細而碎的絮凝，另一張具大而疏的絮凝，其質地顯著不同，但仍可能具有相同或近似的影像吸光度變異係數值，使其交織優劣無法判別。例如兩張基重和變異係數相同的紙樣，基重分別是 74.26 g/m² 及 74.50 g/m²，吸光度變異係數則均為

7.11%。一級統計方法並不能判斷出兩者交織好壞，採迎光而視的視覺判別也難分軒輊。經影像的並生矩陣法評估，各參數值如 Table 5。

以五個並生矩陣導出的特徵參數 (能量、對比、相關、雜亂度及均勻度)，評估比較試樣 A 與 B 的參數值，除了對比特徵參數外，其餘均顯示紙樣 A 的交織比紙樣 B 好。根據紙張原始影像的灰階分佈，A 的灰階分佈 (全域為 0 ~ 255) 是從 56 至 119，B 是從 52 至 115。由於對比特徵參數是量測數據的分散性，A 的對比值比 B 稍高。均勻度參數值兩者相同，於此顯示兩者質地近似，均勻度並無法作明顯的判定。利用二級統計法顯然對紙張交織判別有較為周延的能力。

四、結論

- (一) 試驗條件，特別是外界光線與照光箱光度的變異，對影像像素點的灰階值有重大影響。為免誤差，須求光源穩定及光圈選擇合宜。
- (二) 紙樣透光影像因吸收與散射等因素，並不能像放射線成影法般，可確實反映紙張基重變異。惟在相同漿料下控制抄造與測試條件，紙張平均基重與吸光度間有顯著的相關性。試樣平均基和吸光度迴歸分析方程式如下：

$$\text{LBKP } A = 0.00609 B + 0.07855$$

$$R^2 = 0.986$$

$$\text{NBKP } A = 0.00456 B + 0.00238$$

$$R^2 = 0.989$$
 A 為吸光度，B 為平均基重，R² 係判定係數。
- (三) 經由並生矩陣的五個特徵參數來判斷，短纖漿料所抄造的紙張交織比長纖漿料抄造

的紙張交織佳，同時纖維沉降時間愈長，紙張交織愈趨惡化。此結果與透光度變異係數等法之判定並無差別，僅示影像經轉換後可以用共生矩陣二級統計方法就其透光影像的質地性質作有效的交織判別。

(四) 從紙張影像質地特徵參數辨識紙張交織良窳的能力觀察，能量、對比、雜亂度與峰頂高度等具較強的分辨力；均勻度與相關性則較差。妥善利用二級統計法對於常以主觀認定的交織問題應可作客觀有效的判別。

謝誌

本研究承行政院國家科學委員會補助（計畫編號：NSC 81-0409-B-054-502），得以順利完成，特此致謝。

引用文獻

王益真、吳文棧、谷雲川 1991 影像分析系統用於紙張結構之研究。林業試驗所研究報告季刊 6(4): 373-386。

王益真、吳文棧、谷雲川 1992 影響紙張結構因子之研究（一）抄造條件對手抄紙交織之影響。林業試驗所研究報告季刊 7(3): 259-272。

王益真、鄭介宗、谷雲川 1994 影響紙張結構因子之研究（二）備漿條件對手抄紙交織之影響。林業試驗所研究報告季刊 9(3): 221-233。

Bergh, P., and P. Luner. 1983. The application of image analysis to evaluate small scale basis weight variation in paper. Pages 707-722 in J. Brander, ed. The role of fundamental research in papermaking Vol. 2. Mech. Eng. Publ. Ltd., London.

Bernie J.-P., and W. J. M. Douglas. 1996. Local grammage distribution and formation of paper by light transmission image analysis.

Tappi J. 79(1): 193-202.

Cresson, T. M. 1983. The sensing, analysis and simulation of paper formation. Ph.D. Thesis. State Univ. of New York, College of Environ. Sci. and Forestry, Syracuse, New York.

Cresson, T. and P. Luner. 1990. The characterization of paper formation. Part 2: The texture analysis of paper formation. Tappi J. 73(12): 175-185.

Davis, L. S., S. John and J. K. Aggarwal. 1979. Texture analysis using generalized co-occurrence matrices. IEEE Trans Pattern Anal. Mach. Intell. 1979(3): 251-259.

Haralick, R. M. 1979. Statistical and structural approaches to texture. Proc. IEEE 67(5): 785-804.

Haralick, R. M., and K. Shanmugan. 1976. Computer classification of reservoir sandstone. IEEE Trans. Geosci. Electron Vol. GE-11. p. 171-177.

Haralick, R. M., and K. Shanmugan. 1973. Textural features for image classification., IEEE Trans. System. Managemt. Cybern. Vol. SMC-3: 610-621.

Jordan, B. D., and N. G. Nguyen. 1988. Specific parameter. A graininess parameter for formation and print-mottle textures. Paperi ja Puu 68(6-7): 476-482.

Julesz, B. 1977. Visual pattern discrimination. IRE Trans. Inform. Theory 8(2): 84-92.

Sara, H. 1978. The characterization and measurement of paper formation with standard deviation and power spectrum. Ph.D. Thesis, University of Helsinki.

Sun, C., and W. G. Wee. 1983. Neighboring gray level dependence matrix for texture classification. Computer Vision, Graphics and Image Processing 23: 341.