

以影像處理量測檸檬之幾何性質

Measurement of Geometric Properties of Lemons by Image Processing

國立中興大學農機系副教授

李 芳 繁

Fang-fan Lee

摘 要

本研究使用影像處理系統量測檸檬之長度、寬度、投影面積與投影之邊界長。取像時檸檬以任意方位放置於背光枱上。影像經數位化與二值化後，使用間隙追蹤法尋找邊界。Hotelling 轉換法與旋轉法用以量測長度及寬度。寬度量測誤差之標準差比長度之標準差為小。投影面積與質量、長度和寬度之間均有高相關係數。

ABSTRACT

Image processing algorithms were developed to measure the lengths, widths, projected areas, and the perimeters of projected area of lemons. Lemons were placed, in random orientation, on a backlighting table. The crack following method was utilized to search the boundary pixels of the thresholded images. The Hotelling transform and the rotation method were used to measure the lengths and widths. The standard deviation of measurement errors of width was less than that of length. The projected area correlated well with the mass, length, and width, respectively.

一、前 言

影像處理是一門很有潛力的新興科技，它將由攝影機擷取並經數位化之影像加以處理、分析，提供有用資訊或進一步作成決定。近年來，由於影像處理設備的價格降低，功能增強，它的應用範圍正逐漸擴大。影像處理也是農業自動化中的一項重要技術。

在農業工程上，影像處理技術可被應用於農產品的計數、量測、選別與分級作業。Wright 等 (1986) 利用影像處理系統取得的甘藷影像資料，預測甘藷之表面積和體積以及決定甘藷的形狀。而

Byler 等 (1987) 則以影像處理技術量測蠔肉的面積，並使用面積成功地預測蠔肉的體積和重量。Ling 等 (1988) 則以此種技術來決定蝦子去頭的位置。Guyer 等 (1986) 利用影像處理辨別玉米、大豆、蕃茄及數種雜草的幼苗。Meyer 與 Davison (1987) 使用影像分析系統量測植物的葉子面積，莖之直徑，葉子及葉柄之傾斜角度。這些資料可供植物生長模擬研究之用。Gunasekaran 等 (1987) 利用影像處理技術偵查玉米粒之胴裂。Wigger 等 (1988) 使用彩色影像處理系統來偵查與分類受黴菌感染之大豆，其原理是使用自 CCD 攝影機輸出的紅、綠與藍色信號之比例，

以偵測大豆表面的顏色差異。影像處理技術亦被用以偵查蘋果之瘀傷與分級蘋果 (Rehkugler 與 Throop, 1985), 分級松樹種苗 (Rigney 與 Kranzler, 1986) 選別草莓苗 (李, 1988) 以及檢驗與分級鮮食用桃子 (Miller 與 Delwiche, 1989)。

本研究之目的乃在應用影像處理技術量測檸檬之長度、寬度、投影面積與投影之邊界長度, 並探討它們相互間及它們與檸檬質量之間的關係, 以作為檸檬分級之參考。

二、儀器設備

本研究使用焦距 25mm, F1.4 之黑白電視攝影機 (ITC-410, IKEGAMI) 取像。攝影機之輸出接至即時影像處理器 (VS-100-AT, Imaging Technology), 而此處理器則裝置於 IBM PC/AT 相容微電腦 (EPSON PC AX) 內。影像處理器之記憶容量為 1024×1024 像素, 可儲存四個影像。此外尚有壹臺13吋彩色影像監視器 (PVM-1342Q, SONY) 用以顯示影像。

三、實驗方法

(一) 影像之擷取

首先使用電子稱量取檸檬之質量, 之後以針盤卡尺度量檸檬之長度與寬度, 再將檸檬以任意方位放置於背光枱上, 由攝影機攝取影像, 最後由影像處理器將影像數位化。攝影機鏡頭至背光枱之距離為 700mm。

(二) 演算法則 (Algorithms)

影像數位化後, 以灰度值 170 將影像二值化 (thresholding), 把檸檬與背景分離, 二值化後檸檬為黑色 (0), 背景為白色 (255)。影像二值化後即可進行投影面積、投影之邊界長度、檸檬長度與寬度之量測。

1. 投影面積之量測

將二值化後之影像所含黑色像素之個數算出, 然後將此個數乘以面積像素解析度 (0.167mm²/像素), 即可得到投影面積。

2. 投影邊界長度之量測

在量測邊界長度之前需先找出邊界上之像素。本研究使用間隙追蹤法 (Rosenfeld 與 Kak, 1982) 尋找邊界上之點。

間隙追蹤法則如表 1 所示。電腦從影像左上部由左往右, 由上往下, 檢視每一個像素, 當發現第一個黑色像素時停止檢視。此黑色像素被稱為 P 像素, 在 P 像素左邊之像素被稱為 Q 像素, Q 像素為白色屬於背景, P 和 Q 兩像素間之間隙即為檸檬與背景之界限。假設我們站在此間隙上, 而且 P 像素在我們的左手邊, Q 像素在右手邊, 則我們面對的方向即是間隙追蹤的行進方向。假設在間隙追蹤方向, P 像素面對的像素稱為 U 像素, 而 Q 像素面對的像素稱為 V 像素, 則間隙追蹤將依照表 1 法則行進。表中 P' 是下一個 P 像素, Q' 是下一個 Q 像素。假設 U 和 V 像素都是白色的, 則行進方向是左轉, P 和 U 像素形成界線, U 像素變成下一個 Q 像素, 而 P 像素不變。當回到開始時的 P 和 Q 像素時, 間隙追蹤便告完成。

表 1 間隙追蹤法則

U	V	P'	Q'	行進方向
黑或白	黑	V	Q	右轉
黑	白	U	V	直行
白	白	P	U	左轉

間隙追蹤完成後, 檸檬投影之邊界上的像素已全部被找出。若邊界上相鄰兩像素在同一水平線上, 則此兩像素間之距離等於水平像素解析度 (0.450 mm/像素); 若相鄰兩像素在同一垂直線上, 則此兩像素間之距離等於垂直像素解析度 (0.371mm/像素); 若相鄰兩像素在斜線上, 則它們之間的距離為水平像素解析度的平方與垂直像素解析度的平方之和的平方根。邊界上相鄰像素間距離之總和即為邊界長度。

3. 檸檬長度與寬度之量測

以下兩種方法量測長度與寬度均需知道檸檬影像質心之位置。假設檸檬影像為 $f(x, y)$, 其總像素數為 N , 則質心之座標為

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (1)$$

(1) Hotelling 轉換法 (Gonzalez 與 Wintz, 1987)

假設 V_i 為檸檬影像 (不含背景) 第 i 個像素的座標之向量, 則 V 之平均值

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad (2)$$

而V之共變異矩陣 (covariance matrix) 爲

$$C = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N V_i V_i' \right) - MM' \quad (3)$$

式中 V_i' 與 M' 分別是 V_i 與 M 的轉置 (transpose)。共變異矩陣 C 有兩個互相垂直且通過檸檬影像質心的特徵向量 (eigenvectors)，此二向量之斜率分別爲檸檬影像之長軸 (major axis) 與短軸 (minor axis) 的斜率。在求出影像之質心位置及特徵向量之斜率後，即可算出檸檬之長度 (長軸之長度) 與寬度 (短軸之長度)。

(2) 旋轉法

質心位置求出後，將通過質心之直線以質心爲旋轉中心在影像上轉動，每隙 3° 找出此直線與影像邊界相交之兩點，同時求出此兩點間之距離。這些距離中最大者即爲檸檬之長度，長度求出後，就可決定通過質心且垂直於長度方向之距離，此距離即

是檸檬寬度。

四、結果與討論

表 2 是手量結果與實驗結果。手量結果包括檸檬質量、長度與寬度。實驗結果包括以 Hotelling 轉換法及旋轉法量測之長度與寬度，檸檬投影面積及投影之邊界長。表 3 爲使用 Hotelling 法與旋轉法測得之長度及寬度與手量長度及寬度比較所得之誤差。誤差值依下式計算：

$$\text{誤差} (\%) = \frac{\text{實驗結果} - \text{手量結果}}{\text{手量結果}} \times 100 \quad (4)$$

由表 3 可知，以旋轉法量測長度較 Hotelling 法準確，但在量測寬度時這兩種方法準確度相當。檸檬對長軸不完全對稱是使用 Hotelling 法量測長度較旋轉法不準確的原因。圖 1 是編號 48 之樣品以 Hotelling 轉換法求得之長度與寬度；圖 2 是同一樣品以旋轉法求得之長度與寬度。從這兩張照片上可以看出，長與寬的位置因使用的量測方法不同而有些微差異。

表 2 手量與實驗結果

樣品 編號	質 量 (g)	手 量		Hotelling 法		旋 轉 法		投影面積 (mm ²)	投 影 之 邊 界 長 (mm)
		長 度 (mm)	寬 度 (mm)	長 度 (mm)	寬 度 (mm)	長 度 (mm)	寬 度 (mm)		
1	137.2	80.7	59.7	79.0	59.9	79.8	59.8	3641	230.6
2	82.1	70.9	49.8	66.7	49.5	70.1	50.1	2512	201.5
3	103.3	84.3	52.0	84.3	52.0	84.3	52.1	3173	218.6
4	68.1	63.0	47.1	62.4	47.0	62.4	47.3	2200	182.7
5	62.9	63.2	46.3	61.9	46.8	62.6	46.6	2095	179.7
6	145.7	88.9	61.4	86.5	61.3	88.2	61.8	3862	242.2
7	101.9	73.4	54.3	73.1	54.9	73.8	54.9	2913	215.4
8	75.2	68.0	48.4	66.2	49.0	68.5	49.2	2386	195.6
9	123.4	81.5	57.9	80.2	58.5	81.8	58.8	3482	227.0
10	89.5	74.7	52.1	75.6	52.3	75.6	52.3	2796	205.2
11	76.6	68.1	48.4	66.8	47.8	67.1	48.7	2363	189.4
12	52.3	60.5	43.0	58.3	43.5	60.2	43.3	1896	172.5
13	88.9	66.3	55.1	60.7	55.5	66.7	55.6	2661	200.3
14	66.3	50.8	46.9	60.4	46.7	60.9	47.2	2112	177.8
15	108.4	70.9	56.3	71.1	56.6	71.9	56.7	3017	212.1
16	83.0	65.0	51.5	64.7	51.8	65.7	51.5	2493	196.5

17	142.1	88.4	60.9	89.8	61.6	89.5	61.5	4078	253.0
18	145.9	85.9	64.0	84.7	65.1	85.1	65.4	3974	252.7
19	177.0	99.1	63.3	100.2	64.0	100.2	64.0	4748	284.2
20	125.6	91.2	57.2	87.6	57.3	88.8	58.1	3738	242.2
21	200.9	98.9	66.2	99.0	66.0	100.8	66.6	5060	274.2
22	109.3	80.8	56.5	79.3	56.8	79.8	57.1	3280	232.5
23	186.2	94.8	67.5	96.0	68.5	96.2	68.5	4890	271.4
24	113.5	82.0	55.8	82.6	56.4	83.9	56.5	3405	225.2
25	121.7	82.8	58.4	79.9	59.1	81.9	58.5	3599	246.5
26	144.2	95.0	57.6	94.6	58.2	94.7	58.1	4213	260.6
27	140.1	92.0	59.1	91.0	59.3	91.5	59.7	3992	258.0
28	198.4	92.3	69.2	93.7	70.1	94.1	69.6	5040	278.4
29	160.5	80.7	65.5	78.7	66.7	81.5	66.8	4048	253.5
30	148.4	89.7	60.3	89.3	61.2	88.3	61.4	4060	247.5
31	148.9	79.8	94.1	79.3	64.9	79.9	64.8	3897	240.4
32	108.9	82.9	54.7	82.8	54.9	83.4	54.6	3258	236.0
33	135.9	84.1	61.0	81.3	61.7	83.2	61.5	3849	251.4
34	127.3	86.4	56.8	85.4	57.4	85.2	57.6	3594	235.8
35	148.3	89.4	62.2	88.8	63.2	89.5	62.7	4181	254.3
36	111.9	80.4	57.1	80.8	57.5	81.1	57.8	3324	235.3
37	109.4	83.1	55.9	83.0	56.8	82.9	56.3	3373	235.5
38	101.5	78.5	53.7	76.5	54.4	77.9	54.3	3035	223.1
39	101.5	75.8	56.2	76.4	56.3	76.7	56.1	3072	216.4
40	80.9	65.4	51.0	65.0	51.5	65.5	51.9	2486	206.0
41	110.5	72.0	57.8	70.2	58.8	71.8	58.7	3161	223.0
42	94.7	70.9	54.0	70.2	54.5	71.0	54.6	2844	211.3
43	159.6	98.4	61.7	97.7	62.3	99.9	62.1	4496	280.9
44	89.5	67.1	54.0	66.3	54.8	66.4	54.9	2682	204.1
45	86.9	78.8	50.5	75.7	50.8	75.9	51.0	2801	215.8
46	153.7	86.3	63.0	85.6	63.0	86.9	63.7	4083	267.5
47	107.6	74.3	56.4	74.9	56.6	75.1	56.7	3180	221.3
48	96.8	70.7	53.4	70.7	53.9	71.0	54.3	2874	210.6
49	106.8	78.7	55.7	78.3	56.8	79.1	56.6	3159	226.4
50	76.8	69.4	50.4	68.0	50.6	69.1	50.7	2521	203.6

表3 量測誤差(%)

實驗項目 誤差	Hotelling法		旋轉法	
	長度	寬度	長度	寬度
最大值	1.58	1.97	2.32	2.19
最小值	-8.45	-1.24	-3.68	-0.18
平均值	-1.21	0.78	0.01	0.95
標準差	1.91	0.69	1.20	0.55

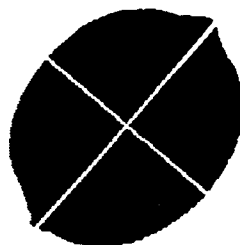


圖2 編號48之樣品以旋轉法求得之長度與寬度

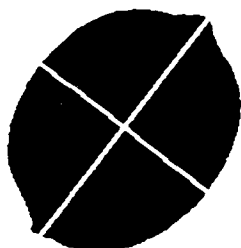


圖1 編號48之樣品以Hotelling法求得之長度與寬度

表4是質量、投影面積、投影之邊界長及各種長度、寬度之間的相關係數。表4顯示Hotelling法和旋轉法寬度與手量寬度之間，Hotelling法

和旋轉法長度與手量長度之間均有很好的線性關係。圖3為旋轉法長度與手量長度之關係圖。表4又顯示與質量有最大相關係數者為投影面積，此相關係數值為0.99(圖4)。若不考慮手量長度與旋轉法長度之間及手量長度與Hotelling法長度之間的相關係數，則與手量長度有最大相關係數($R=0.95$)者為投影之邊界長(圖5)，其次為投影面積($R=0.94$ ，圖6)。同樣地，若不考慮手量寬度與旋轉法寬度及手量寬度與Hotelling法寬度之間的相關係數，則以手量寬度與投影面積之相關係數($R=0.94$)為最大。另外從表4可知投影面積與Hotelling法長度和寬度及與旋轉法長度和寬度之間均有高相關係數($R \geq 0.94$)。

表4 各項目之間的相關係數(R)

	質量	手量長度	手量寬度	Hotelling法長度	Hotelling法寬度	旋轉法長度	旋轉法寬度	投影面積	投影之邊界長
投影之邊界長	0.95	0.95	0.92	0.94	0.91	0.95	0.91	0.98	1.00
投影面積	0.99	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95	0.94	1.00	
旋轉法寬度	0.96	0.80	1.00	0.80	1.00	0.82	1.00		
旋轉法長度	0.91	1.00	0.82	0.99	0.82	1.00			
Hotelling法寬度	0.95	0.80	1.00	0.80	1.00				
Hotelling法長度	0.90	0.99	0.81	1.00					
手量寬度	0.96	0.81	1.00						
手量長度	0.89	1.00							
質量	1.00								

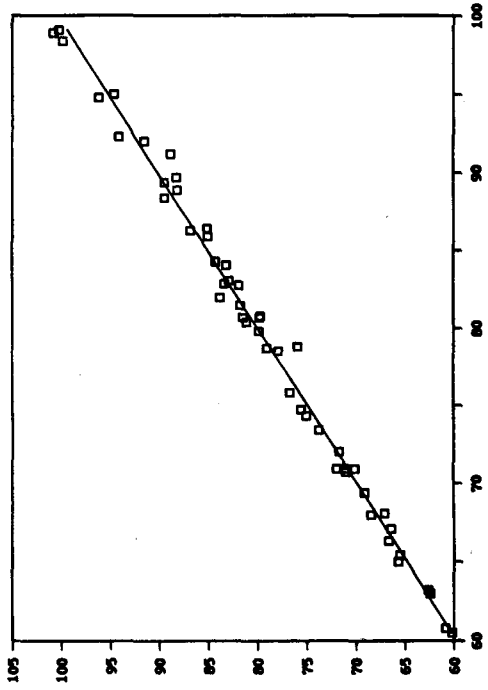


圖 3 旋轉法長度與手量長度之關係

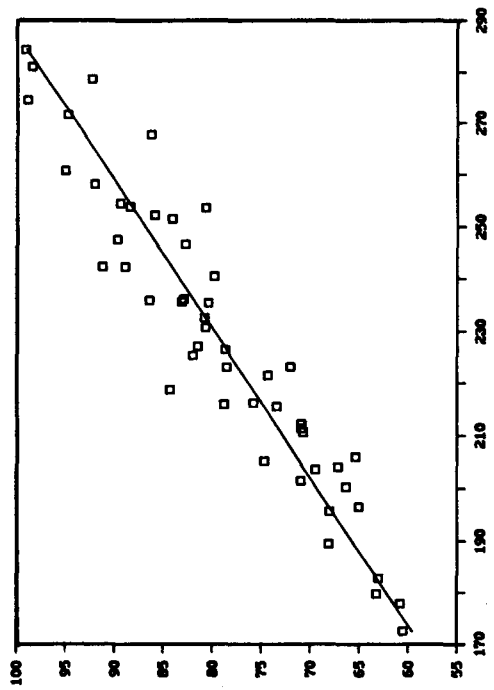


圖 5 投影邊界長度與手量長度之關係

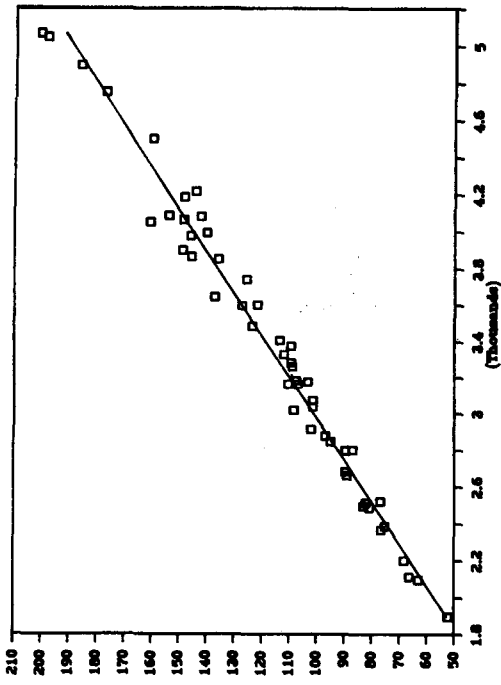


圖 4 投影面積與質量之關係

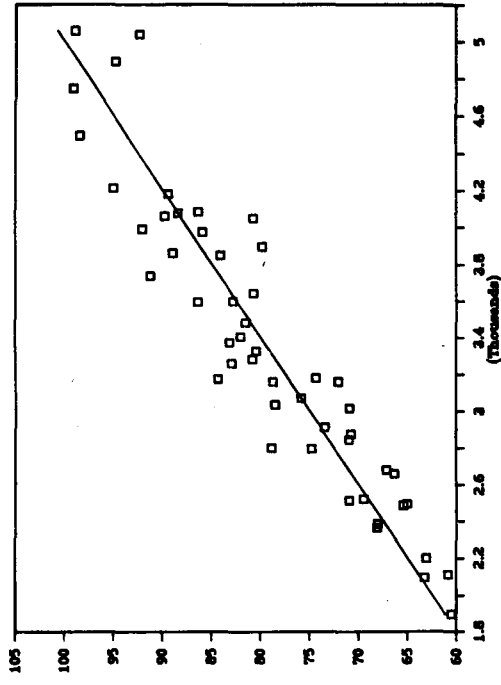


圖 6 投影面積與手量長度之關係

由以上討論可知檸檬的長度、寬度和質量可以準確地以下列迴歸方程式從投影面積計算而得：

$$L = 37.44 + 0.01749 \times A \quad (5)$$

$$W = 33.09 + 0.00696 \times A \quad (6)$$

$$M = -30.71 + 0.04398 \times A \quad (7)$$

其中，L為長度，W為寬度，M為質量，而A為投影面積。再者，因為計算投影面積的速度比量測長度或寬度快，所以在檸檬的大小分級上，可以投影面積取代長度或寬度做為分級的標準。使用 Hotelling 轉換法量測長度與寬度約需 7~10 秒，而使用旋轉法約需 10~12 秒，較大之檸檬需較長之量測時間。至於計算投影面積所需時間則小於一秒。

五、結 論

(一)量測檸檬之長度與寬度時檸檬可以任意方位放置，不必限制使其長軸與短軸平行於影像之邊緣。

(二)量測檸檬長度時，旋轉法比 Hotelling 轉換法準確；量測寬度時此兩種方法準確度相當。

(三)檸檬投影面積與檸檬質量、長度及寬度之間均有高相關係數。

(四)由於量測檸檬之投影面積較量測長度或寬度為快，投影面積可以取代長度或寬度做為檸檬大小分級之標準。

六、謝 誌

本研究承蒙行政院國家科學委員會補助，計畫編號：NSC76-0409-B005-09，謹致謝意。

七、參 考 文 獻

1. 李芳繁。1988。以機器視覺選別草莓苗。中國農業工程學報，34(4):34-38。
2. Byler, R. K., K. C. Diehl, J. W. Stephens, T. W. Awa, P. Hien and M. F. van Gelder. 1987. Digital imaging of oyster meats. ASAE Paper No. 87-6502.
3. Gonzalez, R. C. and P. Wintz. 1987. Digital Image Processing. 2nd ed. Addison-Wesley Publishing Company.
4. Gunasekaran, S., T. M. Cooper, A. G. Berlage and P. Krishnan. 1987. Image

- processing for stress cracks in corn kernels. Transactions of the ASAE, 30(1):266-271.
5. Guyer, D. E., G. E. Miles, M. M. Schreiber, O. R. Mitchell and V. C. Vanderbilt. 1986. Machine vision and image processing for plant identification. Transactions of the ASAE, 29(6):1500-1507.
6. Ling, P. P., S. W. Searcy and J. Grogan. 1988. Adaptive thresholding techniques for shrimp images. ASAE Paper No.88-3040.
7. Meyer, G. E. and D. A. Davison. 1987. An electronic image plant growth measurement system. Transactions of the ASAE, 30(1):242-247.
8. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1989. A color vision system for peach grading. Transactions of the ASAE, 32(4):1484-1490.
9. Rehkugler, G. E. and J. A. Throop. 1985. Apple sorting with machine vision. ASAE Paper No. 85-3543.
10. Rigney, M. P. and G. A. Kranzler. 1986. Machine vision for grading southern pine seedlings. ASAE Paper No.86-1597.
11. Rosenfeld, A. and A. C. Kak. 1982. Digital Picture Processing. 2nd ed. Academic Press.
12. Wigger, W. D., M. R. Paulsen, J. B. Litchfield and J. B. Sinclair. 1988. Classification of fungal-damaged soybeans using color-image processing. ASAE Paper No.88-3053.
13. Wright, M. E., J. H. Tappan and F. E. Sistler. 1986. The size and shape of typical sweet potatoes. Transactions of the ASAE, 29(3):678-682.

收稿日期：民國79年8月16日

接受日期：民國79年9月13日