

使用影像處理對胡蘿蔔進行分叉及破裂之檢測

Forked and Cracked Carrots Detection Using Image Processing

國立中興大學農機系副教授

李 芳 繁

Fang-Fan Lee

國立嘉義農專農機科助教
前國立中興大學農機系研究生

黃 膺 任

Ying-Jen Huang

摘 要

本研究主要目的是使用影像處理技術對胡蘿蔔進行外形分叉及破裂檢測。由於分叉與未分叉胡蘿蔔之間的差異在於外形，因此本研究首先以間隙追蹤法找出影像的形狀邊界，經由修改式矩的計算值來描述胡蘿蔔的形狀特徵，再配合線性分類器來判定胡蘿蔔是否分叉。破裂與未破裂之胡蘿蔔經影像分析得知，在紅色影像中的破裂部位有較低的灰度，因此對胡蘿蔔的紅色影像進行梯度運算，將破裂部位分割出來，再以四相連標記法對破裂區域進行檢測判定。實驗結果，分叉辨識的正確率為96%，破裂辨識的正確率為92%。

關鍵詞：胡蘿蔔，影像處理，分叉偵測，破裂偵測。

ABSTRACT

Image processing techniques and statistical classifier were used to detect the forked and cracked carrots. Since the contours of the normal and forked carrots are different, the crack-following method was employed to locate the boundary pixels of the samples. Then, the modified moments were calculated to describe the shapes of the samples; finally, the Fisher's classifier was utilized to classify the carrots as normal or forked. Because the gray level values of the cracked regions in the red image were less than that of the normal regions, the red image of the carrot was employed in the detection of cracked samples. Gradient operation, image segmentation, and the labeling method were used to detect the cracked carrots. Experimental results show that the detection accuracy rate was 96 % for the forked samples and 92 % for the cracked samples.

Keywords : Carrots, Image processing, Fork detection, Crack detection.

一、前言

蔬果於生長期間難免因管理不當或病蟲害造成蔬果的變形、破裂或發育不良。這些不良品常不具商品價值，於採收後須加以剔除，而這類選別工作，傳統機械式的分級方法常無法滿足所求，因此目前大多仍仰賴人工來完成。目前國內產業結構型態改變，農村勞力日益短缺，雇工困難，工資高漲，使生產成本增加，而且人工的作業方式效率低，品質不一，因此發展適用的選別方法有其必要性。

隨著科技的進步，光電技術和影像處理方法廣泛地被應用在農產品的選別和分級上。蔬果的表面性質不同則會有不同的反射光譜，光電技術主要的原理便是利用這種特性來建立選別指標。如謝與陳(1988)分析番茄表面光學反射性質，建立番茄的顏色選別指標，並根據選別指標以光二極體設計番茄的顏色選別室。魏與楊(1989)以線列式光二極體選別正常梅與褐斑梅。Upchurch等(1991)以分光光度計分析蘋果表面的反射性質，建立蘋果凍傷及瘀傷的檢測方法。執行速度快是光電技術的優點，但在處理以外形變異程度為指標的分級作業時，其檢測功能有限，對這類的問題則以影像處理較具發展空間，尤其近年來影像設備價格降低，處理速度提高，使得影像技術在農業上被廣泛地採用。例如李(1991)以影像處理方式，利用 $Y\theta\rho$ 系統中的 θ （色相）及 ρ （彩度），來建立檸檬的顏色分級指標，而將檸檬分類成綠色、黃綠色及黃色三級。謝等(1990)以影像處理方式，應用4相連區域成長及遞迴填佈理論算出蔬果的投影面積，對蔬果進行大小的選別。Wigger等(1988)以紅、綠及藍色訊號的比值，以偵測大豆表面的顏色差異，來分類受黴菌感染的大豆。Elster和Goodrum(1991)應用影像增強技巧以突顯蛋殼之裂痕部位，再以8方向相連理論偵測連續亮點數是否大於64點，來判定蛋殼有否裂痕。Tao等(1990)利用色相值、一維簽名(Signature)、傅利葉轉換及 Harmonics 轉換來檢測馬鈴薯的大小、顏色、外形及病蟲害。許與李(1994)分別以一次差分法、細密度值及平均色相值來檢測皺皮、發芽及顏色不正常之落花生仁。

本研究之目的是模擬人工分級的方法，應用影像處理技術來檢測胡蘿蔔是否分叉或破裂，以做為使用影像處理技術選別其它蔬果之參考。

二、設備與材料

(一)實驗設備

胡蘿蔔影像擷取系統如圖1所示。利用彩色CCD攝影機(XC-711, SONY)來擷取影像，攝影機之輸出接至影像擷取器(DT2871, DATA TRANSLATION)，此處理器裝置於IBM相容個人電腦內，內含四個Buffer，可分別儲存R、G、B（或H、S、I）影像與Overlay資料，每一張Buffer的記憶容量為 $512 \times 512 \times 8$ 位元。DT2871的軟體部份是“Aurora”，可使用Microsoft C語言撰寫程式去執行。同時使用一台影像監視器(PVM-1342Q, SONY)將擷取的影像顯示出來。另外併接一高速影像處理器(DT2868, DATA TRANSLATION)，可提高部份功能的處理速度。配備一可讀寫光碟機(RS-9200E, RICOH)，用來儲存大量影像資料。

(二)實驗材料

實驗用的胡蘿蔔樣品是採摘自彰化縣芳苑鄉謝朱常先生所栽培的胡蘿蔔，其品種為高農。在樣品取像之前已先經過清洗。使用的樣品共有302個。

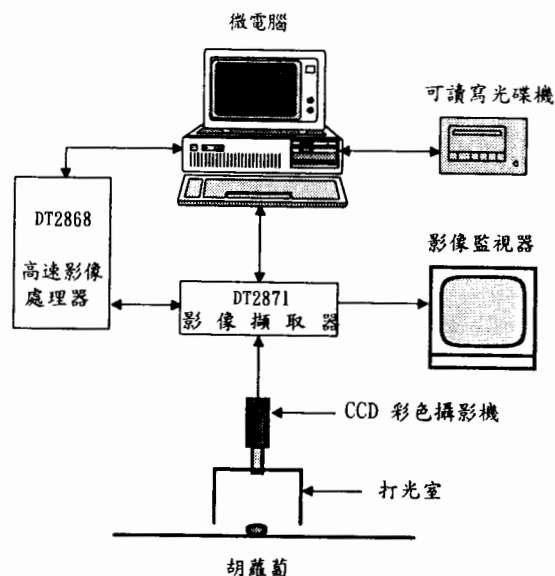


圖 1. 影像擷取系統架構圖

三、研究方法

利用影像設備將胡蘿蔔影像擷取之後，首先找出胡蘿蔔影像與背景之分界值及邊界偵測，然後依序進行分叉檢測及破裂檢測。詳細實驗組則如下：

(一)影像擷取

以任意方向將胡蘿蔔平放於背景顏色為黑色的打光室內，然後在電腦上使用以 Microsoft C 語言撰寫的影像程式，控制影像擷取器 (DT2871) 從彩色攝影機擷取胡蘿蔔影像訊號，擷取的胡蘿蔔影像顯示在影像監視器上，以便監控整個執行過程。

(二)分界值(Threshold)

先以統計圖法 (Histogram) 找出影像與背景大概之分界值，作為執行影像二值化的設定值，再視二值影像是否完整及雜訊多寡而作上下調整，直至所設定的分界值能得到最接近真實的影像為止。經由測試結果得最佳分界值為 50 灰度值。

(三)分叉辨識

分叉與未分叉胡蘿蔔兩者的形狀有明顯差異，因此辨識胡蘿蔔是否分叉，其邊界形狀是重要的依據。傳統矩 (Moments)(Gonzalez 與 Woods, 1992) 是一種影像區域描述子，其處理範圍涵蓋形狀區域內的所有像素，因此適合描述區域之內的細部特徵，當然它也具備描述外形的功能。修改式矩 (Modified Moments)(張, 1991) 是一種邊界描述子，其處理範圍僅限於形狀邊界上的像素，適合來描述形狀方面之特徵。雖然兩者同樣具有描述形狀特徵的能力，但若應用在只要求突顯影像的邊界形狀時，前者的執行過程就顯得相當沒有效率。因此本文應用後者來描述胡蘿蔔的形狀特徵，並配合最小距離分類器 (Gonzalez 與 Woods, 1992) 或 Fisher 線性分類器 (Nadler 與 Smith, 1993) 來找出判斷胡蘿蔔分叉與否的決策函數，其執行步驟分述如下：

1. 形狀邊界量測

修改式矩的計算是依據物體的邊界位置，因此本文應用間隙追蹤法 (Rosenfeld 與 Kak, 1982) 來尋找物體邊界像素的座標。其方法敘述如下：

從影像畫面的左上端為起始點由左至右，由

上往下，檢視每一個像素，當發現物體的第一個像素時停止檢視。此第一個像素被稱為 P 像素，可用以作為追蹤其他像素的起始點。由檢視的順序得知，在 P 像素前一個像素（即左邊之像素）屬於背景被稱為 Q 像素，P 和 Q 兩像素間之間隙即為胡蘿蔔與背景之界限。假設我們站在此間隙上，而且 P 像素在我們的左邊，Q 像素在右邊，則面對的方向即是間隙追蹤的行進方向。在間隙追蹤方向上，假設 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 之法則行進。表中 P' 是下一個 P 像素，Q' 是下一個 Q 像素。當回到起始位置的 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
物體或背景	物體	V	Q	右轉
物體	背景	U	V	直行
背景	背景	P	U	左轉

2. 形狀特徵萃取

假設平面的二維形狀可表示成函數 $f(x,y)$ ，對影像而言 $f(x,y)$ 可視為座標 (x,y) 上的像素灰階值。

修改式矩對二維連續函數 $f(x,y)$ 的 $(p+q)$ 階矩定義為

$$m_{pq} = \int_C x^p y^q ds \quad (1)$$

其中 $p, q = 0, 1, 2, \dots$ 。

它與傳統矩在此處的差異，是將二維形狀的面積分改為沿一維邊界曲線 c 的線積分。 $\int_C$ 是沿曲線 c 作線積分，不考慮積分方向，而且

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

修改式中心矩 (Central Moments) 表示式為

$$\mu_{pq} = \int_C (x-x)^p (y-y)^q ds \quad (2)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

對於一幅數位影像，式 (2) 變為

$$\mu_{pq} = \sum_{(x,y) \in c} (x-x)^p (y-y)^q \quad (3)$$

$p + q \leq 3$ 階修改式中心矩及正規化中心矩之關係式仍與傳統矩的定義相同，即：

$$\mu_{00} = m_{00}$$

$$\mu_{10} = 0$$

$$\mu_{01} = 0$$

$$\mu_{20} = m_{20} - x m_{10}$$

$$\mu_{02} = m_{02} - y m_{01}$$

$$\mu_{11} = m_{11} - x m_{01}$$

$$\mu_{30} = m_{30} - 3x m_{20} + 2x^2 m_{10}$$

$$\mu_{12} = m_{12} - 2x m_{11} - x m_{02} + 2x^2 m_{10}$$

$$\mu_{21} = m_{21} - 2x m_{11} - y m_{20} + 2x^2 m_{01}$$

$$\mu_{03} = m_{03} - 3y m_{02} + 2y^2 m_{01}$$

由二階矩和三階矩所導出的七個不變矩 (Invariant Moments)，亦相同於傳統矩：

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (4)$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (5)$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (6)$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \phi_5 = & (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) [(\eta_{30} + \eta_{12}) \\ & - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ & [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \phi_6 = & (\eta_{20} - \eta_{02}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ & + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \phi_7 = & (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 \\ & - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ & [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (10)$$

其中正規化中心矩

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\frac{p+q}{2}}} \quad (11)$$

其中之 γ 與傳統矩之定義不同，修改為

$$\gamma = p + q + 1 \quad (12)$$

此 $p + q = 2, 3, \dots$ 。

由於有些修改式矩的值很小，為方便觀察起見，將 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 、 ϕ_5 、 ϕ_6 、 ϕ_7 分別乘上調整值 10^2 、 10^5 、 10^8 、 10^9 、 10^{15} 、 10^{12} 、 10^{16} 。

不同的形狀邊界經不變矩的計算之後會產生不同的值，因此分叉與正常影像的矩值理應不同。本研究取了分叉與正常的胡蘿蔔樣品各 25 個，以修改式矩計算出七個不變矩，經乘上調整值後如表 2 所示，由表中可發現分叉胡蘿蔔之 ϕ_1 及 ϕ_2 有低於正常胡蘿蔔的現象，而 ϕ_3 並不明顯，其餘 4 個修改式矩則呈現較不規則的變化。因此本文分別選定其中之 (ϕ_1 、 ϕ_2) 與 (ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3) 兩組參數，來提供分類器找尋辨識胡蘿蔔是否分叉的決策邊界。

3. 分類器

本研究嘗試使用最小距離分類器及 Fisher's 線性分類器，其分類方法分述如下：

(1) 最小距離分類器 (Minimum Distance Classifier)

若一幅影像以一 n 維的模式向量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 來表示，其中每個分量 x_i 表示第 i 個描述子。若將一組模式向量區分成 M 個模式類，以 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M$ 表示，則定義每個模式類的平均向量為

$$m_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in \omega_j} x \quad (13)$$

其中 $j = 1, 2, \dots, M$ ，而 N_j 為第 j 個模式類的模式向量數。

決定一個未知模式向量 X 的所屬類別，是將它指定給最靠近它的那一類平均向量的類別，利用歐幾里得 (Euclidean) 距離來決定靠近的程度，其距離量測為

$$\begin{aligned} D_j(x) = & \|x - m_j\| \\ = & [(x - m_j)^T (x - m_j)]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (14)$$

其中 $j = 1, 2, \dots, M$ 。式 (14) 的決策方法：如果 $D_i(x)$ 是最小距離，則將 x 指定給 i 類。與式 (14) 等效的決策函數為

$$d_j(x) = x^T m_j - \frac{1}{2} m_j^T m_j \quad (15)$$

式 (15) 的決策方法：如果 $d_i(x)$ 得到最大值，則將 x 指定給 i 類。

(2) Fisher's 線性分類器

第 j 類模式的共變異矩陣定義為

$$C_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in \omega_j} (x - m_j)(x - m_j)^T \quad (16)$$

表 2. 胡蘿蔔外形之七個修改式矩值

編號	ϕ	$\phi 2$	$\phi 3$	$\phi 4$	$\phi 5$	$\phi 6$	$\phi 7$	外形
1	1.56	11.28	22.59	11.91	-0.0383	20.52	6.1671	分叉
2	1.38	10.62	50.90	39.00	-5.4037	-389.27	9.9018	分叉
3	1.24	4.72	16.39	17.70	0.7317	-8.05	-6.1148	分叉
4	1.04	6.54	9.71	16.16	0.5405	114.46	3.4320	分叉
5	1.28	6.32	27.67	15.27	0.5244	84.36	8.4229	分叉
6	1.70	14.34	2.34	38.54	0.9559	431.01	6.5274	分叉
7	0.80	2.26	0.77	20.19	0.1082	83.94	2.2759	分叉
8	1.14	3.32	15.47	25.95	1.6356	125.44	-1.7005	分叉
9	1.21	7.22	27.68	48.81	5.2781	381.16	20.8320	分叉
10	0.80	1.37	10.52	5.29	-0.0233	-10.40	1.2258	分叉
11	1.77	14.07	0.67	42.11	0.1795	493.71	6.8156	分叉
12	1.71	13.86	9.73	28.10	1.3997	169.56	-4.4788	分叉
13	1.34	5.26	17.00	13.68	0.1217	-25.95	-6.4846	分叉
14	1.51	7.01	1.51	40.61	-0.4061	332.74	-9.1935	分叉
15	1.50	11.30	13.75	51.64	4.3338	521.00	-3.8766	分叉
16	1.87	19.95	8.40	7.61	0.1033	-41.38	1.6216	分叉
17	1.81	10.69	26.85	12.96	-0.2977	-111.27	-7.0451	分叉
18	1.89	18.29	8.57	1.46	0.0070	-15.77	-0.1479	分叉
19	1.49	10.77	32.74	84.68	14.1004	800.52	0.7133	分叉
20	1.72	13.86	24.37	23.60	1.5461	211.26	9.0052	分叉
21	1.88	25.34	6.91	5.47	0.0116	11.00	-1.0574	正常
22	1.82	22.74	11.98	7.78	0.1188	-74.35	-2.0546	正常
23	1.93	26.69	3.34	0.21	-0.0005	-2.19	-0.0001	正常
24	1.73	17.65	21.81	15.56	-0.7226	-147.80	-5.4688	正常
25	1.90	25.97	13.26	8.02	0.0828	52.95	-2.4807	正常
26	1.85	24.19	10.86	6.61	0.1246	78.42	1.2573	正常
27	1.96	23.95	6.58	0.24	-0.0005	0.16	-0.0080	正常
28	1.84	25.52	11.77	5.63	-0.1451	-76.14	0.0089	正常
29	1.90	24.07	3.64	0.80	-0.0041	-7.71	-0.0145	正常
30	1.92	21.53	11.77	0.01	0.0000	0.02	-0.0001	正常
31	1.90	21.35	10.92	4.31	-0.0886	-60.49	0.3029	正常
32	1.89	21.36	7.35	1.59	-0.0020	6.47	0.1704	正常
33	1.87	22.31	21.94	5.43	0.0256	31.96	-1.8568	正常
34	1.90	25.93	6.73	2.02	0.0218	30.54	-0.0864	正常
35	1.94	27.79	6.03	2.70	-0.0309	-28.48	-0.1516	正常
36	1.91	26.30	3.88	0.51	-0.0011	0.08	-0.0200	正常
37	1.99	22.35	2.96	1.05	0.0054	15.25	0.0221	正常
38	1.79	23.82	16.08	22.74	1.0523	233.81	-8.8516	正常
39	1.89	23.52	9.27	1.10	-0.0111	-10.85	0.0084	正常
40	1.90	24.99	13.12	7.49	-0.0946	-23.66	-2.1511	正常

共同平均 (Pooled Mean) 模式向量爲

$$m = \frac{1}{N} \sum_{j=1,2,M} N_j m_j \tag{17}$$

其中

$$N = \sum_{j=1,2,M} N_j \tag{18}$$

Within-class scatter 矩陣定義爲

$$S = \frac{1}{N} \sum_{j=1,2,M} N_j C_j \tag{19}$$

則其決策函數爲

$$d_i(x) = (x - m_i)^T S^{-1} (x - m_i) \tag{20}$$

其中 S^{-1} 爲 S 的反矩陣。式 (20) 的決策方法：

如果 $d_i(x)$ 得出最小值，則將 x 歸爲 i 類。

應用上述兩種分類器，並以 (ϕ_1, ϕ_2) 及

(ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3) 爲模式向量，分別對 40 個訓練樣品

(分叉與未分叉之胡蘿蔔各取 20 個) 作分析，以找出決定胡蘿蔔分叉與否之決策函數。經計算結果所得之分叉與正常之分類決策方程式如表 3 所示。然後再以這些方程式，對 135 個測試樣品作測試。在表 3 中

$$m_{n2} = (1.8779, 24.5853)^T$$

$$m_{r2} = (1.3927, 8.5014)^T$$

$$m_{n3} = (1.8778, 24.5853, 8.7289)^T$$

$$m_{r3} = (1.3927, 8.5014, 17.5171)^T$$

$$S_2^{-1} = \begin{bmatrix} 42.0953 & -1.9579 \\ -1.9579 & 0.1564 \end{bmatrix}$$

表 3. 判斷胡蘿蔔是否分叉的決策函數

分類器	模式向量 (ϕ)	決 策 函 數	決 策 方 法
最小距離分類器	ϕ_1, ϕ_2	$d_n(\phi)$ $= 0.4851\phi_1 + 16.0838\phi_2$ $- 266.874$	$d_n(\phi) > 0$ 表示分叉 $d_n(\phi) < 0$ 表示正常
	ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3	$d_n(\phi)$ $= 0.4851\phi_1 + 16.0838\phi_2$ $- 8.78826\phi_3 + 151.5462$	$d_n(\phi) > 0$ 表示分叉 $d_n(\phi) < 0$ 表示正常
Fisher's 分類器	ϕ_1, ϕ_2	$d_n(\phi) = (\phi - m_{n2})^T S_2^{-1} (\phi - m_{n2})$ $d_r(\phi) = (\phi - M_{r2})^T S_2^{-1} (\phi - m_{r2})$ $d_{nr}(\phi) = d_n(\phi) - d_r(\phi)$	$d_{nr}(\phi) < 0$ 表示分叉 $d_{nr}(\phi) > 0$ 表示正常
	ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3	$d_n(\phi) = (\phi - m_{n3})^T S_3^{-1} (\phi - m_{n3})$ $d_r(\phi) = (\phi - M_{r3})^T S_3^{-1} (\phi - m_{r3})$ $d_{nr}(\phi) = d_n(\phi) - d_r(\phi)$	$d_{nr}(\phi) < 0$ 表示分叉 $d_{nr}(\phi) > 0$ 表示正常

註： $d_n(\phi)$ ：正常胡蘿蔔的決策函數。

$d_r(\phi)$ ：分叉胡蘿蔔的決策函數。

$d_{nr}(\phi)$ ：判斷胡蘿蔔爲正常或分叉的邊界決策函數。

$$S_2^1 = \begin{bmatrix} 42.0953 & -1.9579 \\ -1.9579 & 0.1564 \end{bmatrix}$$

$$S_3^1 = \begin{bmatrix} 43.6048 & -2.0639 & -0.1152 \\ -2.0639 & 0.1638 & 0.008 \\ -0.1152 & 0.008 & 0.0086 \end{bmatrix}$$

7.0 破裂辨識

從胡蘿蔔的紅色影像中可觀察到，破裂部位的灰度值比正常部位為低，如圖 2 所示。利用這種灰階變化較大的現象，本研究以檢測灰階之不連續性有很好效果的數種梯度運算來進行實驗，如 Roberts、Prewitt、Sobel 等梯度運算以及我們對 Roberts 稍作修改而得的修改式交叉梯度運算，嚐試對破裂區進行分割。經測試結果，以修改式交叉梯度運算所獲得的效果最好。同時我們也在影像進行梯度運算之前預做一些處理，試圖改善分割效果。以下是本研究對胡蘿蔔影像進行破裂檢測步驟：

步驟一：低通濾波 (Lowpass Filtering) 處理。

其運算遮罩為

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times 1/9$$

低通濾波是以鄰域平均值代替影像點的值，可以使影像的灰階變化更趨平滑，因此一張影像若先經低通濾波處理，可降低因梯度運算所產生的雜訊。



圖 2. 破裂胡蘿蔔之紅色影像

步驟二：修改式交叉梯度運算。

$$\nabla f = |F - F_{rd}| + |F - F_{ld}|$$

其中， F 為原影像 $f(x,y)$ 。 F_{rd} 為將原影像 $f(x,y)$ 往右下對角方向平移 3 個像素位置之影像。 F_{ld} 為將原影像 $f(x,y)$ 往左對角方向平移 3 個像素位置之影像。

步驟三：以一分界值 (120) 將破裂區分割出來，並將影像二值化。

步驟四：將影像邊界線消除。其方法是以影像邊界座標點為中心，左右各 10 個及上下各 5 個像素的區域之灰階值均改為 0。

經上述方法執行結果，偶而會產生屬於非破裂的部份被分割出來，這個現象多半是由胡蘿蔔表皮的皺褶紋路或殘留的鬚根所造成，由於這些部份所構成的獨立區塊其連續面積較小，因此可以計算每一區塊的面積大小來區別該區塊是否為破裂區域。

本文以 4 相連標記法 (Gonzalez 與 Woods, 1992) 來計算每一區塊的連續面積，其方法敘述如下：

由於目前所處理的是一幅二值化影像 $f(x,y)$ ，因此若以 0 (背景) 或 1 (物體) 來描述影像 $f(x,y)$ ，則如何將影像中凡具有 4 相連關係的任意兩個像素標記成同一個區域，其偵測方法是由上至下，由左至右掃描每一個像素，當出現的像素值是 1 時，立即再判斷該像素的左邊及上方二個像素，則可能出現下列四種情形：

- (1) 當 $f(x-1,y) = f(x,y-1) = 0$ 時，表示出現新的區域，因此該區域的累計數加一，並將該像素的值加一。
- (2) 當 $f(x-1,y)$ 或 $f(x,y-1)$ 只有一個為 0 時，則令 $f(x,y)$ 等於不為 0 的像素之值。
- (3) 當 $f(x-1,y) = f(x,y-1) = n$ 時，則令 $f(x,y) = n$ 。
- (4) 當 $f(x-1,y) = n1$ ， $f(x,y-1) = n2$ 且 $n1 \neq n2$ 時，令 $f(x,y) = n2$ ，並記錄 $n1$ 與 $n2$ 是等價。

經掃描一次結束後，原像素值為 1 的點都被標記過了，但有些標記是等價的，再對影像進行第

二次掃描，把出現第四種情形的等價像素都標記成相同的灰度值，則不同區域的像素將被標記成不同的灰度值。因此只要計算每種灰度值個別的像素數目，即可個別算出每個區域的面積。凡是面積超過 70 個像素點者則視為破裂區。

四、結果與討論

(一) 分叉辨識結果

分叉胡蘿蔔與正常胡蘿蔔最大的差異在於它們的形狀，因此本文藉由檢測胡蘿蔔的形狀邊界，來計算修改式矩的三個不變矩數，再經由最小距離分類器或 Fisher 線性分類器來區分是否分叉，同時也比較兩個分類器的辨識效果。

圖 3 是正常與分叉胡蘿蔔之 ϕ_1 與 ϕ_2 分佈圖。圖 3 顯示，分叉與正常的胡蘿蔔之修改式不變矩 ϕ_1 與 ϕ_2 分佈區域明顯不同，顯示修改式矩可以有效分離分叉與未分叉的胡蘿蔔。而分叉胡蘿蔔的 ϕ_1 與 ϕ_2 比正常形狀者低，因此形狀愈不規則修改式不變矩有愈小的趨勢。

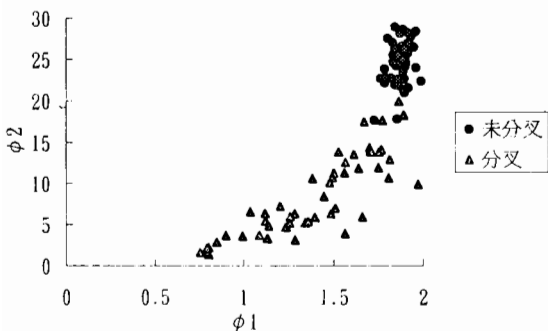


圖 3. 正常與分叉胡蘿蔔之 ϕ_1 及 ϕ_2 分佈圖

以表 3 所列的 4 種決策函數對 135 個胡蘿蔔進行分類測試，其結果如表 4。從表 4 可知兩種類器對兩係數 (ϕ_1 、 ϕ_2) 的辨識正確率相當接近，而三係數 (ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3) 的辨識效果則以 Fisher's 分類器較佳。在最小距離分類器的辨識結果中，三係數的辨識正確率反而低於兩係數者，顯示 ϕ_3 對胡蘿蔔外形的特徵描述效果不佳。對 Fisher's 分類器而言，使用兩係數與使用三係數之辨識結果相同。

(二) 破裂辨識結果

本研究使用 Prewitt, Sobel, Roberts 以及修改式交叉梯度運算子進行胡蘿蔔破裂偵測。其中 Prewitt 及 Sobel 運算對破裂區域的檢測有明顯的效

果，但也同時增強了部份表皮紋路的灰度值，使得兩部份的灰度值頗為接近，不易作分割處理。Roberts 運算與修改式交叉梯度運算同為交叉式的影像相減處理，因此運算結果頗為接近，其結果除了邊界以外，破裂部位的灰度值明顯高於其它部位，但還有少部份非破裂區的灰度值與它近似。比較這兩種方法，以後者對破裂區的檢測較為完整，雖然其雜訊較多，但這些雜訊因其連續面積較小，可對其進行面積檢測而予以消除。綜合上述四種運算方法，以修改式交叉梯度運算法對破裂區域的檢測效果最好。

表 4. 胡蘿蔔分叉之測試結果

種類	樣品總數	最小距離分類器		Fisher's 分類器	
		d_{m2} 誤判數	d_{m3} 誤判數	d_{m2} 誤判數	d_{m3} 誤判數
分叉樣品	57	2	12	2	2
正常樣品	78	4	20	5	5
合計	135	6	22	7	7
正確率(%)		96	84	95	95

註： $d_{m2} = d_m(\phi_1, \phi_2)$ ， $d_{m3} = d_m(\phi_1, \phi_2, \phi_3)$

低通濾波遮罩的計算方式是以其 3×3 遮罩內的像素灰度值之平均為遮罩中心的新值，因此有平均鄰近像素的效果。經由其運算之後使影像產生平滑作用，對灰階變化較小的部份具有消除變化的功能，而這些部份在破裂檢測上正是屬於非破裂區的雜訊，因此在進行梯度差分運算之前先經低通濾波處理，具有降低雜訊的效果。圖 4 是梯度運算前未經低通濾波處理所得到的影像，而圖 5 係梯度運算前經過低通濾波處理所得之影像。

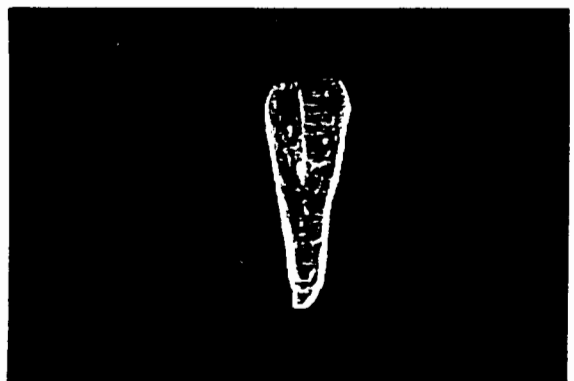


圖 4. 修改式交叉梯度運算子對未經低通濾波處理的破裂影像運算之結果

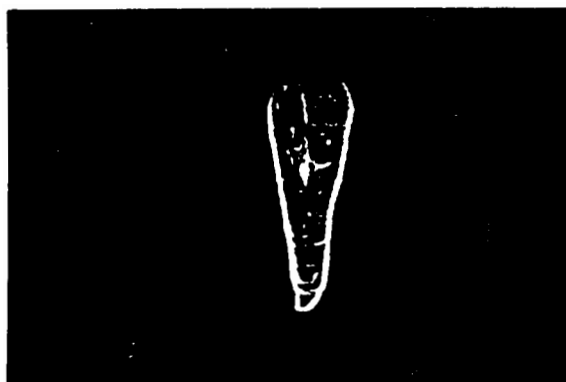


圖 5. 修改式交叉梯度運算子對經低通濾波處理的破裂影像運算之結果

圖 6 所示為使用適當分界值 (120) 分割圖 5 後的影像，除邊界外，破裂區輪廓已大致分割出來。再經邊界消除處理如圖 7 所示。最後以 4 相連標記法檢測每一區域的個別面積，若相連區域面積小於 70 個像素則視為雜訊並消除之。圖 8 為經標記法運算之後的結果，圖中顯示的部份即為所分割出的破裂區域，表示此條胡蘿蔔是破裂的。

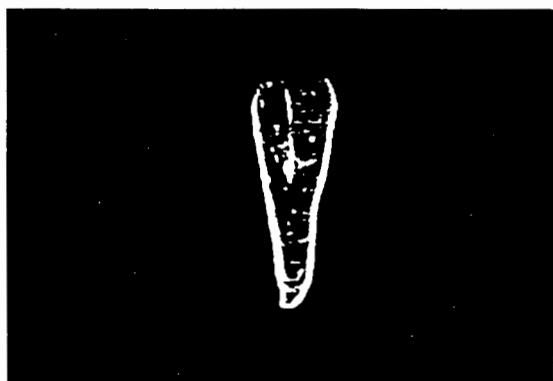


圖 6. 使用分界值 120 分割圖 5 所得之影像

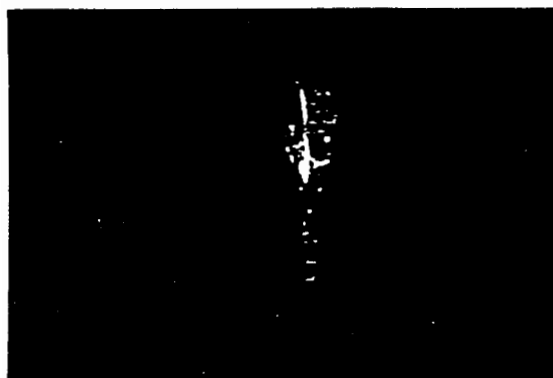


圖 7. 去除圖 6 之邊界後所得之影像

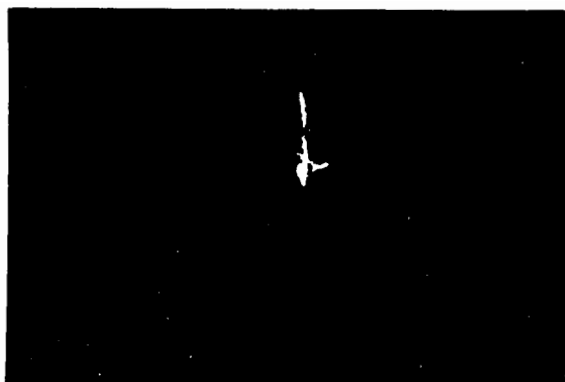


圖 8. 使用四相連標記法偵測圖 7 所得之破裂部位影像

以修改式交叉梯度運算法配合 4 相連標記法對 127 條胡蘿蔔進行破裂檢測，測試結果如表 5 所示，辨識正確率為 92 %。其中正常的胡蘿蔔被誤判為破裂的主要原因是表皮有明顯灰階變化的紋路，而被誤判為破裂區域。破裂的胡蘿蔔誤判為正常的原因恰好相反，乃破裂區與周圍的灰階差異不明顯所致。另外由於檢測過程中，必須消除邊界附近的灰階，因此若是破裂區太靠近邊界則有被去除的可能。

表 5. 胡蘿蔔破裂之檢測結果

樣品種類	檢測數目	誤判數目	辨識正確率(%)
破裂樣品	67	6	92
未破裂樣品	60	4	

五、結 論

1. 以修改式矩配合最小距離分類器或 Fisher's 線性分類器，對胡蘿蔔進行分叉辨識，獲得相當高的準確率。其中以 ϕ_1 、 ϕ_2 為分類參數時，則兩個分類器的正確率相當，最小距離分類器為 96 %，Fisher's 分類器為 95 %。分類參數為 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 時，則以 Fisher's 線性分類器之正確率較高達 95 %，而最小距離分類器之正確率則為 84 %。
2. 修改式矩不因影像的平移、旋轉及比例縮放而變化，因此應用在描述影像的外形時，可不受

取像方位的影響。

3. 形狀愈不規則，由修改式矩所算得之 $\phi 1$ 及 $\phi 2$ 值愈小，因此適合被應用於描述影像之外形特徵。
4. 在梯度運算之前先行低通濾波處理，有降低雜訊的效果。
5. 本研究經由梯度運算之後，再配合4相連標記法來檢測破裂區與非破裂區，其辨識正確率為92%。

六、參考文獻

1. 李芳繁。1991。檸檬顏色分級方法之建立。農業工程學報。37(2):59-64。
2. 許獻成、李芳繁。1994。使用彩色機器視覺選別落花生仁。農業工程學報。40(4):65-76。
3. 張志祥。1991。有效的建立一個二維形狀辨識系統。清華大學資訊研究所碩士論文。
4. 謝廣文、陳世銘。1988。番茄顏色之光電選別室設計。農業工程學報。34(4):39-46。
5. 謝青霖、馮丁樹、陳世銘。1990。數位影像處理在蔬果大小選別之應用。農業機械學刊。1(1):28-41。
6. 魏賢卿、楊進添。1989。加工梅子光電式選別機之研製。農業工程學報。35(4):112-122。

7. Elster, R. T. and J. W. Goodrum. 1991. Detection of cracks in eggs using machine vision. Transactions of the ASAE 34(1):307-312.
8. Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 1992. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company.
9. Nadler, M. and E. P. Smith. 1993. Pattern Recognition Engineering. John Wiley & Sons Inc.
10. Rosenfeld, A. and A. C. Kak. 1982. Digital Picture Processing. 2nd ed. Volume 2. Academic Press Inc.
11. Tao, Y., C. T. Morrow. and P. H. Heinemann. 1990. Automated machine vision inspection of potatoes. ASAE Paper. No. 90-3531.
12. Upchurch, B. L. and H. A. Affeldt, W. R. Hruschka and J. A. Throop. 1991. Optical detection of bruises and early frost damage on apples. Trans. of the ASAE 34(3):1004-1009.
13. 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.

收稿日期：民國85年1月30日

接受日期：民國85年3月6日