

光電式蔬果大小選別裝置之研究 (二)

— 陣列式光電晶體之應用

A Study on the Size Sorting of Vegetables or Fruits

— Using Array Phototransistors

臺灣大學農工所碩士

臺灣大學農機系教授

臺灣大學農機系教授

楊 棧 雲

馮 丁 樹

陳 世 銘

C. Y. Yang

Din-Sue Fon

Suming Chen

摘 要

非破壞性檢定技術在農業上之應用，目前在國內已有相當程度之發展。無論用光譜之特性或影像之分析，均可作為判斷蔬果大小及品質之方式。由於微處理機技術之發展，此類裝置不但具實用性，而且成本亦不會很高。本研究之目的即在利用光電及微處理機之判斷能力，進行辨識蔬果之大小。就蔬果大小之影像高度及投影面積，分別作成指標，以進行分級作業。

整個量測系統係以兩排垂直緊密相接的光感測元件——紅外線發光二極體及光電晶體，在蔬果通道兩側對稱裝置，作成陣列式排列。一排為發光體，另一排為光接收體，藉水果遮斷發射源光線訊號的多寡作判斷。訊號取得後以Z80微處理機作為資料的處理和程式控制。

對於光線照射時產生扇形散射之問題，傳統上均採用價格昂貴而製作精密的透鏡組以產生平行光源。本研究則採用價廉而易得的紅外線發光二極體 (IRED)，搭配微處理機之軟體技術，以克服此種散射或漫射諸問題。其結構因而變成相當簡易，成本亦較低。

本試驗中，曾利用已知高度和面積的保麗龍球和壓克力方板進行軟體的校正和測試。在高度方面，經對同一高度樣品量測25次，標準誤差係數為2.34%，其解析精度達5mm。對投影面積掃描計數偵測值而言，其誤差則較大。主要是在目前裝置上量測時，仍無法控制皮帶速度的變動。隨輸送皮帶速度減慢，其面積之誤差值降低，實驗並顯示面積計數值與皮帶速度之線性程度良好，其 R^2 決定因數達0.975。

關鍵詞：大小選別、投影面積、光電式。

ABSTRACT

A non-destructive method using array phototransistors for the sorting of fruits and vegetables has been fully examined in this study, in order to develop a low-cost and practical system to improve the grading operations.

Fruits and vegetables are both delicate materials, and can be sized by their heights or projection areas. With these two factors involved, sizing devices were built and experiments were conducted in laboratory to study the significance of the sizing indexes.

The device consists of two symmetrical rows of photo emitter-sensor pairs across a moving belt which carries the sizing objects along. As a fruit or vegetable passes by, its height is determined by counting the number of light beams that are interrupted. A single board Z-80 microprocessor is therefore employed to handle the process and control involved.

In this research, the diffusion of light sources was of a big potential problem as far as precise parallel beams were concerned, but was finally solved by an introduction of a special scanning technique using near-infrared LEDs, accompanied by a software handling routine.

In testing of objects with known heights, the error in heights was 2.34% and the resolution was about 5mm. The measurement of projection area was found less stable than that for heights due to the variations in the belt speed. However, the result was improved as the belt speed decreased. The area counting value showed a perfect linear relation to belt speed with an averaged R^2 of 0.975.

Keywords: Sizing, Projection area, Electro-optical.

壹、前 言

利用新近光電元件及影像技術，發展成另一種非破壞性檢定技術 (NDT, Non-destruction Detection Technique) 是當今量測技術的一個重大突破，也是近年來科技探討之主流。而非破壞性檢定技術在農業上之應用，目前在國內亦有相當程度之進展。無論用光譜之特性或影像之分析，均可作為判斷蔬果大小及品質之方式，亦可進而發展成為視覺系統。由於微處理機技術之發展，此類裝置不但具實用性，而且成本亦逐年降低。本研究之目的即在利用光電及微處理機之判斷能力，進行辨識蔬果之大小。就蔬果大小之影像高度及投影面積，分別作成指標，以進行分級作業。

將光電技術應用在農業工程上，有下列優點：

1. 對農產品不會破壞。
2. 快速而精確。
3. 光電元件與電子零件體積小而質量輕。
4. 以微處理程式軟體控制，可因不同需求修改

，具有可程式化的優點。

傳統的機械式大小選別方法對農產品容易造成傷害，且選別方式粗糙而缺乏彈性。為改善選別的精度與速度，且減少對農產品造成損傷，光學式的非破壞性檢定技術是一最可行的方法。

配合現代微處理機技術，本研究擬從另一種角度規劃一種嶄新的選別系統。此系統將以更多維的蔬果尺寸作為判斷的依據，更多更複雜的計算以求得更精確的數值，必要時尚可求出蔬果截面積的大小。簡單的偵測構造使系統易於維護，其體積小、重量輕，且任何場合皆能應用。配合微處理機軟體的發展可依蔬果各種條件的變異修改程式。速度快、精度高，輕、薄、短、小，價格又便宜。

本研究針對設計一個實用而信賴度高的系統之可行性作一完整的探討，研究之目的有三：

1. 找尋較實用之掃描方式，以量測蔬果的大小。
2. 以高度及面積，建立蔬果大小選別的指標。
3. 設計一光電式蔬果大小選別之裝置。

為達到上述目的，工作內容將包括偵測元件的選擇與安排、微處理機之硬體的規劃與軟體的設計。其後再藉實驗結果對整個系統作一評估。

貳、文獻探討

蔬果之光性質，是蔬果物理性質中重要的一環，在過去二十年之間有關品質與光性質的各種基礎研究已經陸續完成。梅田重夫(1977)發展一光電方法，藉以偵測蔬果的直徑、高度、和顏色。其偵測元件係以光電晶體間隔 5mm 垂直安排成。顏色則由二種光二極體對不同波長的光譜反應而得。試驗結果顯示與人工選別之間認知的差距只有 5%。

山下律也、池田善郎(1980)則以 CdS 光敏電阻各 48 顆成兩行直立排列。載物臺以脈衝馬達帶動螺桿向左移動，範圍為水平 96 格。光源照射在測試的粒狀蔬果上，與蔬果相似之影像投射在 96×96 個格子點的平面上。CdS 元件會隨投射光的明亮度改變電阻值的大小，其濃淡的解析能力達 1/4096。

土井淳多(1976)則以 ITV 攝影機(點素為 102×128)配合影像處理技術，設定一臨界值為基準，可分辨目標物的邊緣與背景。如此可取得柑橘與菠菜葉等農產品的形狀、大小及邊緣。而物體面積則以該圖形區域內像素的個數表示。其實驗顯示誤差大約為 1~2%，而處理速度約每個 0.3 秒。

梅田重夫(1982)以線性的光電偵測元件配合迷你電腦製成一自動偵測與分級系統。可分辨蔬果外形兩邊高起而中間低陷的情形，如柑橘、蕃茄與蘋果等。以線性光電偵測器進行偵測後，再以 WALSHE 轉換，以獲得溫州柑之最大直徑。趙等人(1984, Vinh Duc Chau)以現行農產品分級方法，應用統計的 Fuzzy 理論作分級的數學函數，考慮的三個主要因子為形狀指標、顏色指標、顏色均勻度。

貝克曼等人(1978, Von Beckmann & Bulley)則發展一套能立即作蕃茄的大小與顏色分級之系統。其光源由一光纖將鎢絲燈光導入，光源面積為 25mm×1.6mm，垂直於蔬果移動方向照射。偵測端亦利用一散亂安排的光纖將蔬果表面反射的光線導入光接收器光電晶體。當蔬果被載入通過光纖偵測頭時，蔬果表面的反射光被光纖接收，經一施密特觸發器發出脈波。蔬果通過後又發出一訊號脈波。量取兩個脈波之間的時間間隔，可換算蔬果之長度。其分級速度可達每秒 20 個。

梅爾等人(1987, Meyer & Davison)則取影像偵測系統的非破壞性質，對成長箱內的植物生長情形進行觀測。觀測對象包括葉的面積、莖的口徑、葉和柄的角度等。毛等人(1986, Maw)則在苗床移植的場合利用光電元件以偵測苗的存在，每小時達 144,000 株，誤失率僅 1%。蓋爾等人(1986, Guyer)則利用攝影視覺系統配合數位影像處理演繹法則，嚐試辨識培養箱內的植物，如玉米、大豆、蕃茄等。但發覺對差異性很大的植物方能分辨。無法同時分辨多種。

馮與洪氏(1987)以一氬氫雷射作為光源，經由一扭力掃描鏡反射而產生扇形掃描光束。此一扇形掃描光束再射至一拋物面鏡，產生一垂直平行之掃描光束。此平行光束快速地掃描皮帶上運行之蔬果而產生蔬果大小之光訊號，此一光訊號經一透鏡聚焦於光電晶體而轉換為電訊號，再經轉換電路輸入蘋果二號微電腦中。由於雷射具有高同調性(Coherence)與高直線進行的特性，此系統具有很高的精密度，高度誤差在 ±1.5 公厘以內。

沙克等人(1985, Sarkar & Wolfe)則以數位影像分析和圖形辨識技術，作生鮮蕃茄的方向判斷，並以大小、形狀、顏色、表面污點等農產品性質為基礎的蔬果分級。利用邊界鏈結碼(Boundary Chain Code, Freeman, 1970)發展出一套將蔬果邊界找出的形狀分析技術，以此邊界圖形，作為大小判斷的基礎。考慮大小的判斷可以用周長或面積表示，實驗顯示兩者對蔬果赤道直徑的相關數相等，而周長的計算較面積便利，最後以周長為大小的指標。

臥虎氏等人(Wolfe & Sandler, 1985)又以數位影像分析發展一套判斷蔬果蒂柄的演繹邏輯。由蔬果的影像彎曲圖形邊緣連結的連結碼(Chain Code)作分析，由連結碼的急遽不同找出蒂端。以實際的藍莓作實驗結果只有 15% 的錯誤發生。

雷克勒等人(Rehkugler & Throop, 1986)設計出一可旋轉 360 度的水平轉盤，能以便蘋果轉動一周，並使用一 64 像素的一維線性攝影機配合影像處理系統來記錄蘋果的表面狀態，如此以轉盤旋轉一周及可得整個蘋果形狀、大小、顏色及蘋果表面瘀傷，速度達每分鐘 30 個蘋果。

叁、理論模式推導

一、蔬果大小分級的一維指標

培力格(1985, Peleg)認為農產品大小選別的

物理因子應包括直徑、長度、周長、投影面積、體積與重量等或其中之組合。這些因子均可用物理量器進行測定。就消費者選擇的習慣言，最好的大小選別方法就是傳統的肉眼識別法（Visual sizing）。故近代諸大小選別之器械和方法，都是儘量去模仿肉眼識別的優點。

較具規則外型之蔬果，如葡萄柚、柑橘、蘋果、蕃茄、香瓜、蘿蔔等，其分級可按照其外形的特徵，由其長軸直徑與短軸直徑之大小決定。與蔬果蒂端成正交的最大直徑為設為D；而與蒂端同軸的蔬果長度設為L，則D與L可作為一維方向之分級參數。培力格利用分級圖（Sizing Map）進行此方面之分析，最後建立大小分級指標P為D與L的函數：

$$P = \alpha L + (1 - \alpha)D \quad (1)$$

其中，P為分級用指標，而 α 值之範圍依分級機構之型式而定，但其值應小於1。一般皮帶滾輪式之分級機構，其 α 值約為0.17；而Grommet滾輪式者約為0.25。

二、蔬果大小分級的二維指標

一般蔬果之三個主軸長度與其包含之體積，存有某種函數關係。高登氏（1952, Goulden）亦發現此三軸長之對數值與其體積之對數值間具有良好的線性。易言之，在大量處理農產品時，只要量取的兩個主軸直徑即可換算對應體積之對數值。因此在必要時方才考慮採用第三軸直徑。

毛森氏（Mohsenin, 1936）提及休士頓氏（Houston, 1957）為發展檸檬的大小分級機械，提出一投影面積與體積之間的關係如下：

$$V^2/S^2 \geq 1/(36\pi) \quad (2)$$

式中，V為體積，S為物體表面積。在各種凸形物中，量取凸形物的三個軸向投影面積並取其平均值，定義為標準投影面積。則凸形物的表面積大約可表示為標準投影面積的四倍（Polya & Szega, 1951），故以 $S = 4A$ 代入公式(2)，則投影面積與其體積之關係可用下式表示：

$$A \leq KV^{2/3} \quad (3)$$

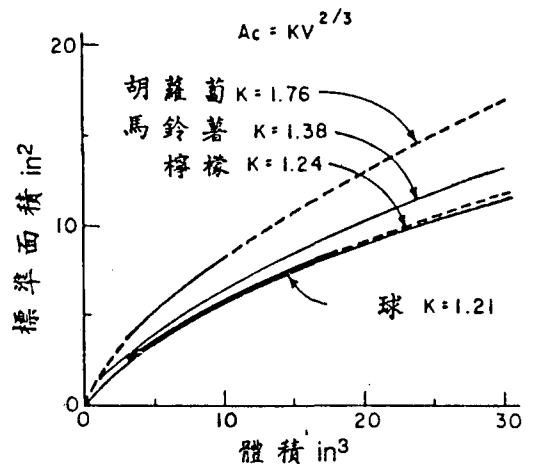
其中K為常數。若為球體時，其值為1.21。

利用上述方法可分別求得檸檬、馬鈴薯、胡蘿蔔等農產品之投影面積對體積之間的K值曲線，如

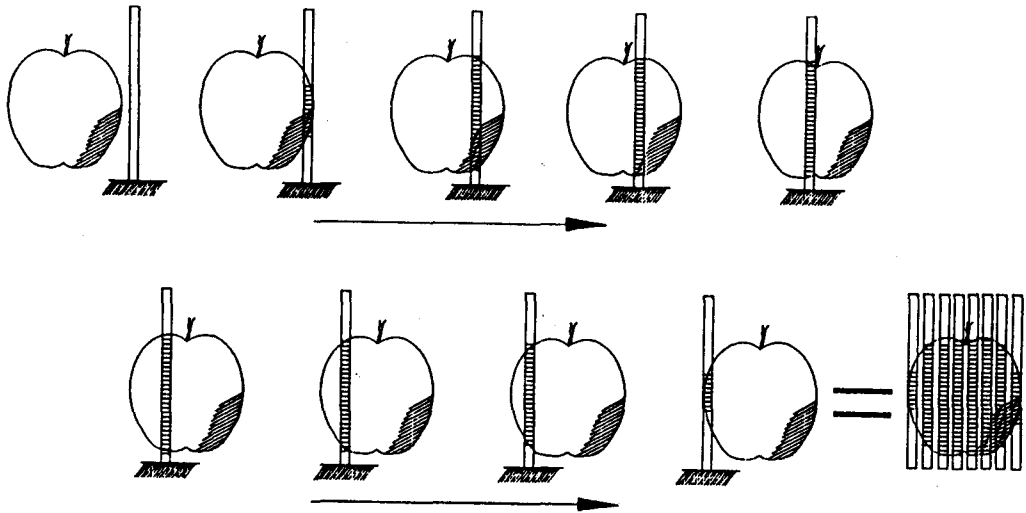
圖一所示。曲線顯示檸檬表現接近一個真實球體，而胡蘿蔔則表現為一個橢圓體。大部分的蔬果如馬鈴薯、蕃茄、蘋果、水梨、梅子等的曲線都落在這兩條曲線之間。各曲線在果粒較大部分都趨近於一直線，K代表與該直線斜率有關的因子。而且此一K值直線的斜率隨水果近似長條形狀或表面凹凸不規則形而增加。故只要知道某農產品之K值，即可利用微處理機，在程式中建立一函數。經選別機構偵測而得之投影面積因而可經換算而獲得水果之真實體積。

技術上，可直接採用所獲得投影面積作為分級指標，並與實際蔬果建立某種函數關係，再進行分級。此方式只須利用Houston氏所發展之K值曲線指標，並在程式內建立對照表，則真實體積大小的判斷即可查表完成。此外，亦可以該曲線的近似直線取代原來曲線，建立公式，取得投影面積資料後代入公式，則一樣可計算該水果的真實體積。

事實上，培力格氏所提出的一維或兩個一維的方式則普遍為學界或加工機械的設計者所採用。其主要原因是一維的尺寸容易量測，且機械設計簡單。但此方法的分級對象則大部份限定在近似球形之水果方面，對於不規則或長條形水果則一維指標的代表性較差。此類水果之分級若能配合功能較多、速度較快之微處理機，則仍可以加以解決。



圖一 面積指標與體積間之關係與球作比較。(Mohsenin, 1986)



圖二 水果在輸送帶上被掃描時之情形以及其投影面積之關係。

三、數位式面積掃描方法分析

數學上任何封閉曲線內的面積，均可以積分法表示。事實上，水果的投影面積亦為一封閉曲線所構成。基本上，總面積 A 為個別微量面積 ΔA 之組合：

$$A = \sum \Delta A \quad (4)$$

在影像上， ΔA 為像素或各掃描點所組成，或為垂直與水平方向所掃得像素之累積。圖二所示為水果進輸送帶上經過掃描器時之情形。故 ΔA 應可為掃描高度 Y 與水平微量位移 Δx 之乘積：

$$\Delta A = Y \Delta x \quad (5)$$

此處， Δx 應與掃描速度及皮帶之速度有直接之關係。在垂直方向之掃描點數為固定，設其總點數為 N_p ，且每點間所需處理之時間為 $(T_u + T_d)$ 。其中， T_u 為微處理機所需之處理時間，而 T_d 則為光電晶體之反應時間。此為晶體達到穩定接收信號所需之時間。通常 T_d 必須比該使用中的光電晶體額定之反應時間為長。每一行所需花費之總時間與皮帶速度 V 之乘積即為每行在水平方向之位移：

$$\Delta x = N_p \times (T_u + T_d) \times V \quad (6)$$

公式(5)中之 Y 值則為垂直軸上所計數之點數 P_y 與點間距 S_y 之乘積，或：

$$Y = P_y \times S_y \quad (7)$$

將公式(6)、(7)代入(5)再代入公式(4)，得：

$$\begin{aligned} A &= \sum \Delta A \\ &= \sum (P_y \times S_y) \times (N_p \times (T_u + T_d) \times V) \\ &= [S_y \times N_p \times (T_u + T_d)] \times V \times \sum (P_y) \\ &= \Psi \times V \times \sum (P_y) \quad (8) \end{aligned}$$

而 Ψ 之常數定義為：

$$\Psi = S_y \times N_p \times (T_u + T_d) \quad (9)$$

由於公式(8)中之 $\sum (P_y)$ 即為掃描系統所累積之點數，故(8)式所代表之意義如下：

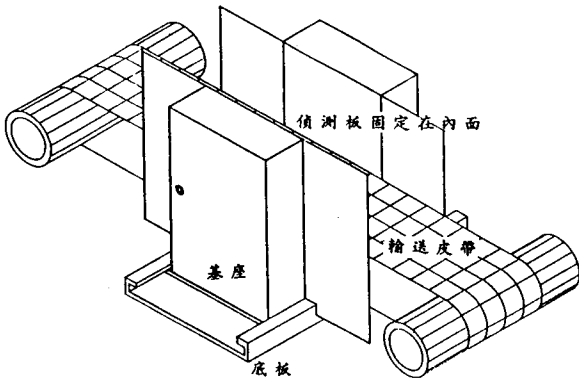
$$A = \Psi \times (V \times \text{掃描計數值}) \quad (10)$$

在一個線性的光學掃描系統中，水果由皮帶載入，通過偵測體。水果投影面積相當於掃描時計數 ΔA 的累積數目，而 Ψ 值則與掃描系統有關，或為系統常數。

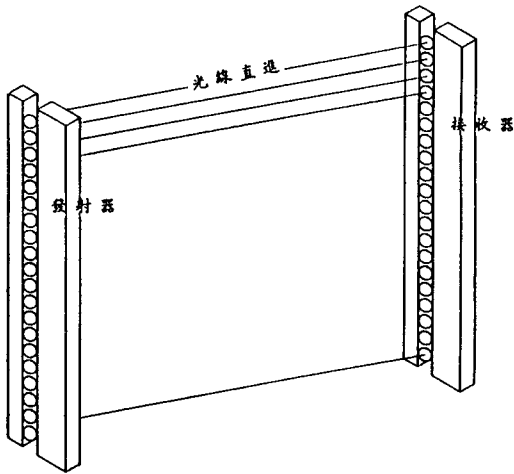
肆、選別裝置之設計及試驗

選別裝置是由一微處理機控制中心、偵測系統、狀態顯示面板、機臺和輸送進料皮帶等構成。其外觀如圖三所示。蔬果由皮帶載入，通過偵測板後訊號由控制中心的微處理機接收。微處理機將訊號依不同功能及目的加以運算處理過後，將級別訊號

送到後處理部，以進行水果分級。



圖三 選別偵測裝置之外觀圖。



圖四 偵測器的安排示意圖。發射端/接收端各24顆呈直線垂直排列，互相對準

一、偵測原理

由圖三所示之整個機架中，偵測部則放置在輸送皮帶之兩側。各有等數之紅外線發光二極體及光接收電晶體。各晶體分別安裝在兩塊平行對稱的電木板上，間隔相同，兩兩緊密相接（如圖四所示），如此可獲得最佳的解析度。兩電木板以螺絲固定在實驗基座上，跨置於輸送皮帶兩側。此時接收器

與發射器的光軸必須精確對準。為此在製作時須格外小心，且在牢固之外尤須注意裝卸方便，以方便將來校正。水果通過皮帶時，其高度可由被遮斷的LED之光訊號加以判斷。

對於規則形水果而言，此法將可獲得有關該蔬果的直徑D、或高度L等資料，並由累積計數配合公式(10)計得該水果面積。

量測的解析度直接與接收端口徑大小有關。以本裝置設計為例：BPX99之口徑為4.7mm，其兩相鄰接收器距離即為4.7mm（或等於公式(7)中之 S_y 值）。由於水果本身之分級級數不會很多，故此解析度來作水果的分級，應相當足夠。本偵測板共有24顆發射器及24接收器，以熱熔膠黏附其上，其接腳以排線拉出。

此種晶體陣列方式產生平行光源之方法，表面看來尚屬可行，但實際上最難克服者為發光二極體之散射及漫射問題。前人有些相當之研究構想，但頻遭放棄，乃是遭遇此先天上之困難。由於各LED所產生之散射一般均會干擾相鄰區域的偵測體。以線性相當良好的TSTA7100為例，其散射角約 $\theta = \pm 10^\circ$ 。故距離愈長，其干擾現象愈為嚴重。為改善上述困難，特以軟體控制方式加以解決。

由軟體控制之方式，茲說明如下：設有八顆發射端LED依順序如下點亮：

```

0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 1 0 0 0
:
:

```

當點亮發射端之第五顆時（由右向左數起），其點亮狀態如下：

```

暗暗暗亮暗暗暗暗
0 0 0 1 0 0 0 0 (11)

```

當發射端之第五顆點亮，但由於散射關係，同一時間之接收端輸入可能如下：

```

暗暗暗亮亮暗暗暗
0 0 1 1 1 0 0 0 (12)

```

此時，如何判斷接收端所接收到之亮的訊號中，到底那一顆的訊號有效？本研究所以採取之方法是，將(11)式與(12)式先作邏輯『及』（AND）的運算：

$$\begin{array}{r} 00010000 \\ \text{and) } 00111000 \\ \hline 00010000 \end{array} \quad (13)$$

其結果，只有原先發射端點亮對面的接收端訊號被保留下來。故如果發射源所發射之訊號為00010000，而接收之訊號為00001111時，經此一運算，即可判定發射光源並沒有被接收到訊號，如：

$$\begin{array}{r} 00010000 \\ \text{and) } 00001111 \\ \hline 00000000 \end{array} \quad (14)$$

此種利用軟體之方法，可補硬體上之不足，相當可行。設計時則須重新將偵測板排成一直線緊密相接。由此原理可以用來截取蔬果橫向最大寬度、縱向最大高度、與投影面積。茲將各種量測之過程說明如下：

1) 縱向高度的量測

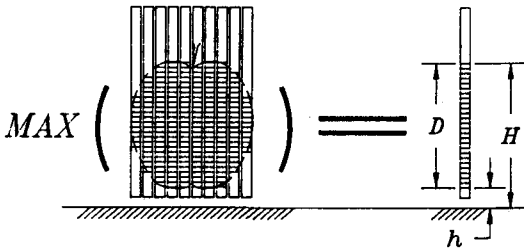
在水果通過掃描區時，可設計一個軟體程式，以取得水果最高點（如圖五所示）。

$$D = H - h \quad (15)$$

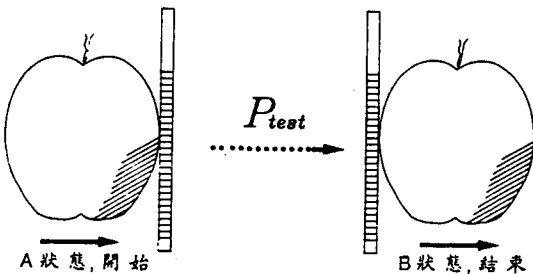
其中，D為水果縱向最大高度。

H為偵測器取得最大高度。

h為自基準線算起的皮帶高度。



圖五 最大高度查尋方式示意圖。



圖六 水果橫向最大寬度之找尋方式示意圖。

2) 橫向寬度的量取

蔬果由A狀態開始進入（見圖六），到B狀態結束。計算其所掃描的時間， P_{test} ，再由下式計算水果之最大橫寬，L：

$$L = V \text{ (皮帶速度)} \times P_{test} \quad (16)$$

3) 投影面積

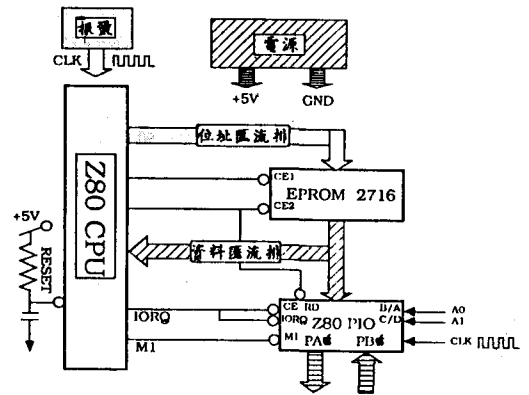
如圖二之水果掃描情形，利用偵測器往覆掃描，再將每一瞬間遮斷發射端的個數累加。並利用公式(10)進行演算，即可獲得投影面積。

三、其他硬體結構

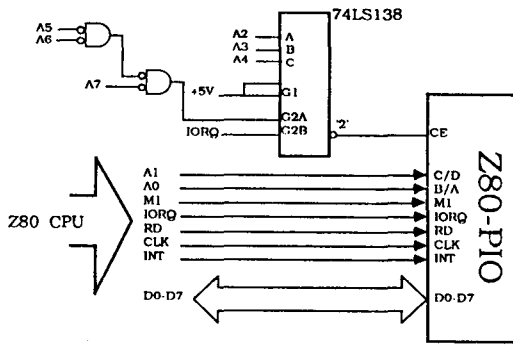
(一) Z80 實驗基板描述

Z80 CPU 為一八位元微處理機，目前普遍被工業界以為控制技術核心。以微處理機發展自動化的農機具是為農機學界未來重要方向之一，本實驗裝置即引用此一微處理機應用技術作為資料處理、運算與判斷結果的中心。

Z80 CPU 具有八條資料匯流排，16條位址線。故實際定址空間可達 $2^{16} = 64K$ 。由於 IORQ 與 MERQ 兩條控制線分開，I/O 定址與記憶體空間定址各自獨立。此種定址方式較有利於輸入輸出頻繁的機械控制與偵測系統的應用。Z80 I/O位址可容256位元組。以 PIO 為例，則可以外接128個偵測點，在一般工業應用的場合，這些空間已卓卓有餘。這些位址經由解碼 IC（如74LS138, 74LS139等），解碼到各週邊配備。一般 Z80使用的這些週邊裝置包括 Z80PIO、Z80CTC、Z80SIO、8255及8253等。經由 I/O裝置，Z80 CPU 可以與外界溝通，達到控制的目的（如圖七）。



圖七 最小的 Z80微處理機模組。包括一個記憶體的 EPROM 與一個和外界連繫的週邊PIO。



進取位址 = $\begin{matrix} R7 & R6 & R5 & R4 & R3 & R2 & R1 & R0 \\ B & B & 0 & 0 & 1 & 0 & X & X \end{matrix}$

圖八 Z80解碼示意圖。

利用一顆 74LS138，3 對 8 解碼器觸發 Z80 PIO 的晶片致能線 OE。

實驗基板，由二片 PC 板組成。其一包含 Z80 CPU 與記憶體 IC (6264SRAM, 2764EPROM)。系統時脈由一 4.9152 MHz 的振盪晶體經除頻、反向、拉高後，其頻率為 2.45 MHz。線路佈置預留位置多達 8 個腳座，每個 8K，全部即有 64K 可用。記憶體位址的分配是由一顆 74138 解碼，每個腳座可自由選擇隨機存取記憶 (RAM) 或者僅讀記憶體 (ROM) 這個選擇由短路跳線決定。板上有一按鍵開關，為一重置 (RESET) 電路開關。另留有二個牛角插槽，與 CPU 呈腳位對腳位 (Pin to Pin)，提供實驗時接至外部設備。另一基板總稱為 I/O 基板，包含所有 Z80 可用的週邊裝置，包括：2 顆 8255、3 顆 PIO、2 顆 CTC、1 顆 8253 及另一顆時鐘 IC MC146818。定址位置亦由一顆 74138 解碼分配 (如圖八)。每個週邊 IC 都有一對映的牛角插槽，供外界接至週邊使用。週邊元件的位址分配表如表一：

表一 Z80 實驗基板週邊位址分配表

位 址	週 邊 IC
00H-03H	Z80 CTC-1
04H-07H	Z80 CTC-2
08H-0BH	Z80 PIO-1
0CH-0FH	Z80 PIO-2

位 址	週 邊 IC
10H-13H	8253
14H-17H	Z80 PIO-3
18H-1BH	8255-1
1CH-1FH	8255-2

(二) 偵測元件

本實驗光源部分採用近紅外線 LED (IRED)，其編號為 TSTA7100，由 Telefunken 出品。偵測部則採光接收器，達靈頓型光電晶體 (Photo Darlington) 編號為 BPX99 Telefunken 出品。發射器以限流電阻方式驅動發射端 IRED，一端接 +5V，另一端則接到 Z80 板的 8255PIA 輸入/輸出埠。為確保驅動力足夠，另在電路上串一級 7406 緩衝器。

接收端之輸入端由 BPX99 的接腳拉出，由於光電晶體的輸出通常只有 0.9V，為使其與 TTL 規格相容 (+5V 代表“1”，0V 代表“0”)，故加一放大電路。

(三) 掃描室

以壓克力製成，表面塗以黑色平光漆，以避免光線反射跨於輸送皮帶上，上方以一黑色塑膠布覆蓋。偵測板固定在選別室內側，其外線黏附於一基座上。基座可沿底板上的槽滑動以供調節，基座尺寸為 (10cm × 26cm × 36cm)，內部空心，可置入控制電路板與電源供應器等，其表面則經設計作為顯示面板。

四機 座

機架以一 20mm × 20mm 角鋼銲接作成馬蹄形，以便供選別基座跨置中間。皮帶輪則固定在兩側，使皮帶穿過發射板與接收板之間。皮帶寬 10 公分，皮帶輪徑 10 公分，使用正時齒輪與正時皮帶期使皮帶速度維持穩定。馬達採輸入最高 24 伏特的直流馬達。轉速由電壓控制，與控制器和一個電壓錶頭一起黏附於機架上。

(四) 輸入、輸出埠之控制

發射端/接收端各 24 顆，各自接到 8255 PIA 與 Z70 P10 的三個埠 (PORT)，每個埠 8 個位元，其位址表如下：

表二 光偵測系統週邊資源分配表

發射端		接收端	
8255		Z80 PIO	
命令	資料	命令	資料
1BH	18H	0AH	08H
	19H	0BH	09H
	1AH	0EH	0CH

8255 之工作模式各設定為輸出 (即 PA、PB、PC)，而 PIO 之工作模式為輸入。其運算之流程如圖九所示，其動作之次序如下：

1. 清除水果進入及通過之旗標。
2. 測試是否有水果進入及通過旗標，若已通過，表示面積計數作業完成。
3. 開始面積計數作業。
4. 依序發射光，並檢查有否收到信號，24顆逐顆進行。
5. 全部檢查完畢後，返回 2 項繼續進行。

(丙) 皮帶速度之偵測

本實驗係利用反射式的原理發展而成皮帶速度偵測器，其觀念如圖十所示。為避免面鏡邊緣觸發的彈跳現象，使用一施密特 (Schmitt trig.) 反向觸發器，設定一電壓臨界值，將訊號取入 CTC。CTC 通道 2 則設定為一方波產生器，頻率約為 0.1KHz。即每一方波 10 毫秒。

當光線反射由 PT501 接收，訊號接到 CTC 通道 0。通道 0 由外部觸發產生中斷，呼叫通道 1 開始計數通道 2 所發出的脈波數，直到下一次通道 0 再度發生中斷為止。區段期間計數到的脈波數即可換算得皮帶輪轉速：

$$RPM = 1 / (10^{-3} \times \text{脈波數}) \times 60 \quad (17)$$

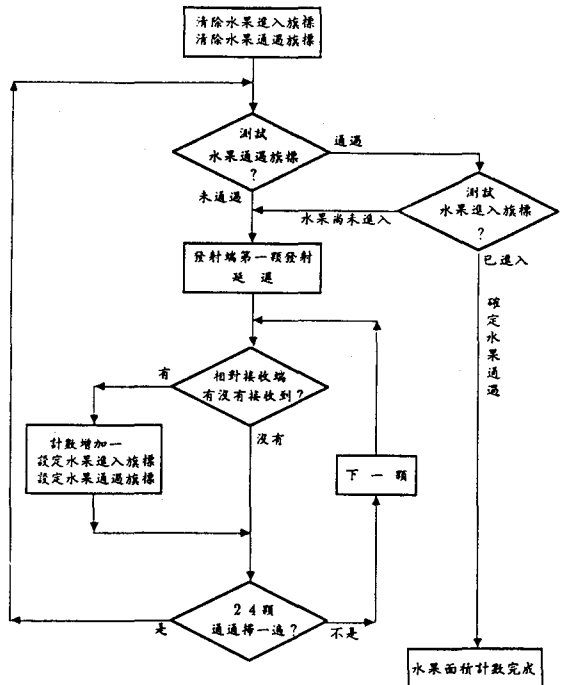
CTC 通道間的關係示意如圖十一。

四、實驗方法

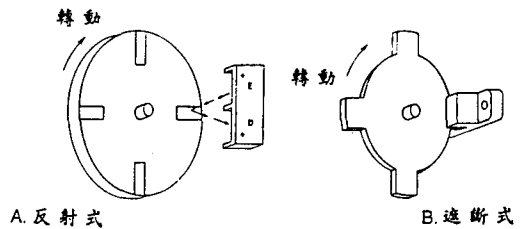
實驗程序先後分為三階段進行：

1. 皮帶速度測試：以手持式轉速計測試皮帶速度與供應電壓間關係，並將所得之資料接合至 Z80 基板中應用。利用 CTCTEST. ASM 程式作為計數其實際轉速之用。

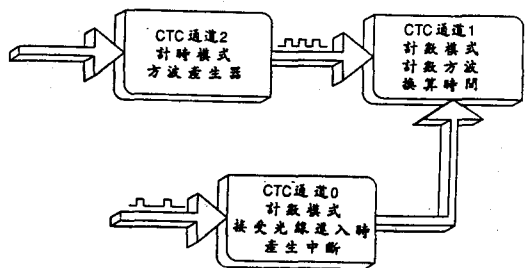
2. 製作一程式作為配合硬體的核心理，以此程序



圖九 水果進入時之偵測及投影面積之計算流程。



圖十 光電式轉速計原理。



圖十一 轉速計使用 CTC 通道架構圖。

作為基礎進行軟體及硬體的偵錯與校正、測試系統穩定度、並量取基礎資料，其中包括樣品高度與樣品面積掃描值。

3.分析實驗基礎資料，設法將此掃描值轉換成該樣品的面積。嗣後以實際蔬果試驗及分析資料。

五、結果與討論

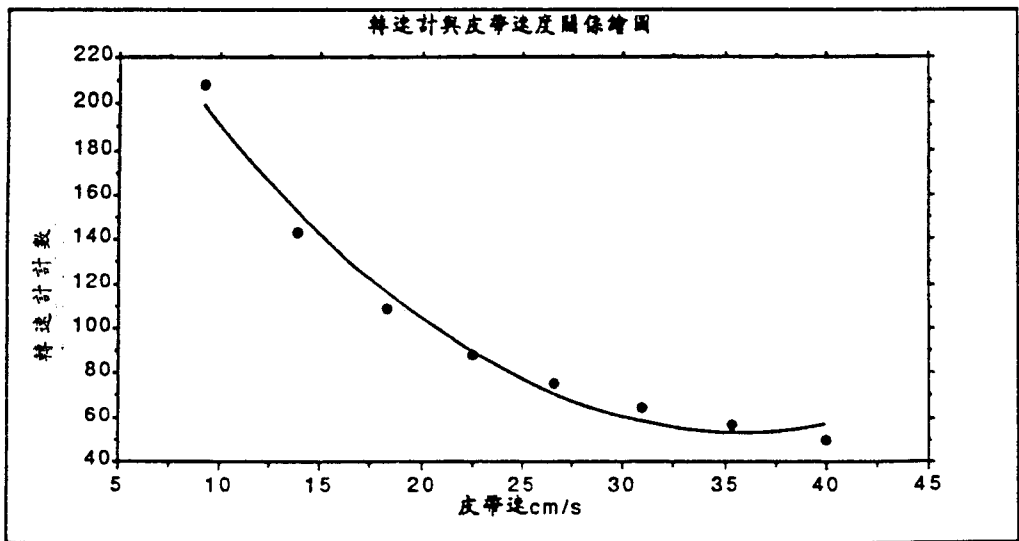
一、皮帶速度之測試

皮帶馬達的速度由供應電壓控制，變動馬達的供應電壓，即可調得期望的馬達轉速，供應電壓與皮帶轉速間呈一線性的關係。且經實驗證明轉速計

數與皮帶速度具有反比的關係，如圖十二所示，其間的差異性可解釋為因摩擦及打滑所引起的轉速變化。故若計數值乘以皮帶速度，其結果接近一定數（在本實驗中，約 1983.28）。

在本試驗中，為求配合實際硬體之操作，所用之皮帶速度均以微處理機之計數值為準。由圖十二可知微處理機之計數值與實際皮帶速度成反比關係，其換算式如下：

$$\text{皮帶實際速度, cm/s} = 1983.28 / \text{速度計數值} \quad (18)$$



圖十二 轉速計與皮帶速度之間之關係

二、高度試驗部分

當蔬果通過偵測體，其高度可由遮斷的接收器判斷。在對壓克力方板進行高度偵測的實驗中，曾對同一試品量取25個試驗資料，所得結果相當準確。其標準誤差係數 (σ/x) 為 2.34%。

對高度而言，自 3cm 到 10cm 每間隔 1cm 的試品作實驗，高度的偵測值為真實高度的對應關係亦相當線性。高度約每每增加 1 cm，測量值增加 2 之程度，其關係可用下式表示：

$$(\text{高度, cm}) = 0.5469 \times (\text{量測指標值}) + 1.37265 \quad (19)$$

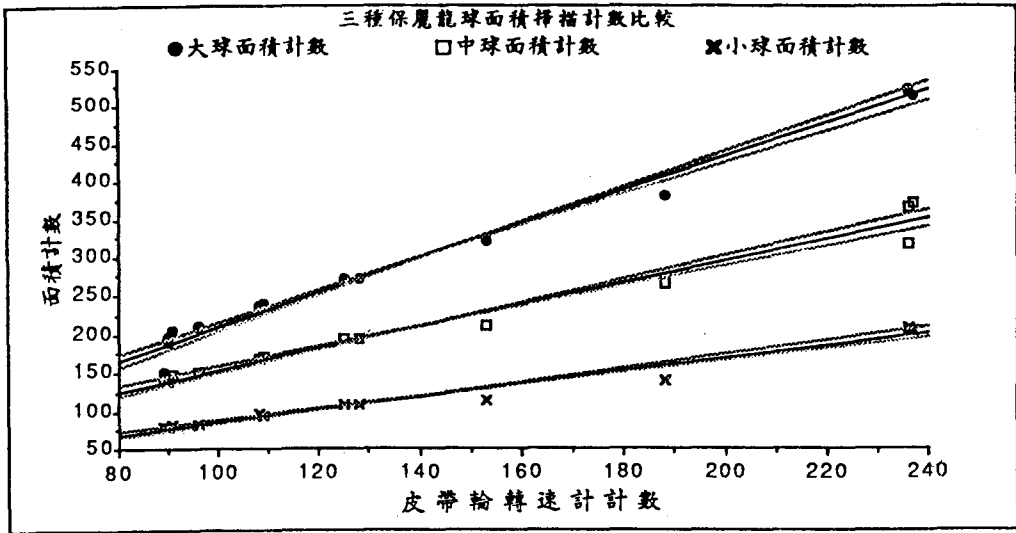
上式之決定係數為 $R = 0.9981$ 。

三、面積掃描計數實驗部分

依據圖九之掃描計數流程設計程式，藉由發射

端及接收端不斷的來回掃描偵測，可以測得樣品面積之計數。在大、中、小三種保麗龍球（直徑分為 88、74、57mm，依計算其投影面積分別為 6082、4300 及 2552 mm²）所作之實驗中，觀察其在不同的皮帶速度下之情形可知。皮帶速度愈快（或其速度計數值愈小），其面積掃描計數值亦相對減少，且呈線性變化。圖十三為三種尺寸在不同之皮帶速度計數值下所獲得之保麗龍球投影面積掃描計數。圖中顯示掃描值與皮帶速度的呈線性關係，其決定係數 R^2 值均落在 0.97~0.98 之範圍。

在相同皮帶速度下，三條曲線上的掃描值，則呈倍數關係。其倍數範圍分佈在 2.5~2.47 與 1.80~1.76 之間，這與試與真實面積的比值 (2.3 與 1.69) 非常接近。



圖十三 三種保麗龍球（直徑分別為88、74、57mm）在不同皮帶速度計數值下，其掃描投影面積之變化。皮帶實際速度參見圖十二或公式(18)之計算。

表三 三種保麗龍球進行試驗，所得相關資料及系統常數之計算

速度常數 890/RPM	計數			面積 / 計數			系統常數
	大球	中球	小球	大球	中球	小球	
89	194.30	138.50	78.55	31.30	31.05	32.49	2813.59
90	189.50	139.60	77.30	32.09	30.80	33.01	2877.00
90	196.35	140.80	78.45	30.98	30.54	32.53	2821.50
91	204.10	146.75	82.60	29.80	29.30	30.90	2730.00
96	209.95	150.15	82.10	28.97	28.64	31.08	2838.08
108	235.80	169.10	94.65	25.79	25.43	26.96	2814.48
109	238.25	170.50	94.40	25.53	25.22	27.03	2826.01
125	270.00	192.70	108.35	22.53	22.31	23.55	2849.58
128	270.20	193.40	107.55	22.51	22.23	23.73	2921.39
153	320.35	212.30	112.70	18.99	20.25	22.64	3155.88
236	524.65	371.60	208.45	11.59	11.57	12.24	2784.80
236	522.70	367.45	203.95	11.64	11.70	12.51	2820.20
188	379.75	264.70	138.55	16.02	16.24	18.42	3175.95
237	516.75	371.05	205.40	11.77	11.59	12.42	2826.62

平均 2875.36
 標準差 125.59
 最大值 3175.95
 最小值 2730.00

四、樣品投影面積試驗部分

由於掃描裝置之特性關係，蔬果的投影面積與面積的掃描計數有一定比例關係。其值已在公式(9)及(10)中定義過。若將公式(18)之皮帶計數值代入公式(10)，則水果之實際面積應如下：

$$A = \Psi \times (1983.28 / \text{皮帶速度計數值} \times \text{掃描計數值}) \quad (19)$$

或，

$$\Phi = 1983.28 \times \Psi$$

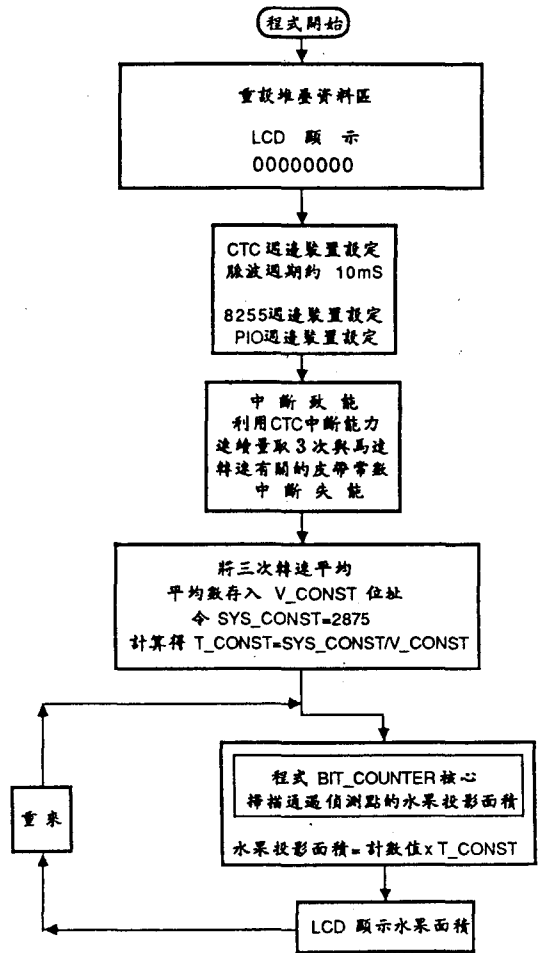
$$= \text{皮帶速度計數值} \times (\text{水果投影面積}, A) / \text{掃描計數值} \quad (20)$$

式中， Φ 為本系統之系統常數。表三所示為三種尺寸之保麗龍球經過試驗統計後所獲得之結果。依據公式(20)之計算，其系統常數 Φ 值平均應為2875.36。或其 Ψ 值約為1.45。

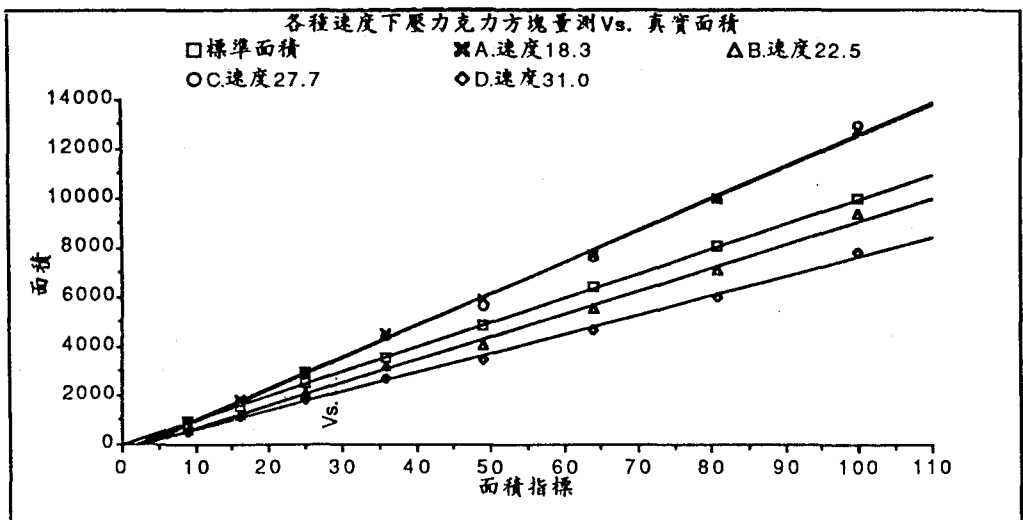
由所得資料可知：對於同一水果在不同的皮帶速度下，其所得的面積掃描值應該與皮帶速度成反比。故若利用掃描計數的量測值預測水果面積時，應可利用公式(20)之關係進行換算。亦即以掃描值乘以系統常數 Φ ，再除以皮帶速度計數值來求取面積。

圖十四為利用系統常數進行偵測水果投影面積之流程。式中， V_CONST 為皮帶速度之計數值， SYS_CONST 為系統常數值。速度一旦有變，其所計算之投影面積亦會隨着改變。

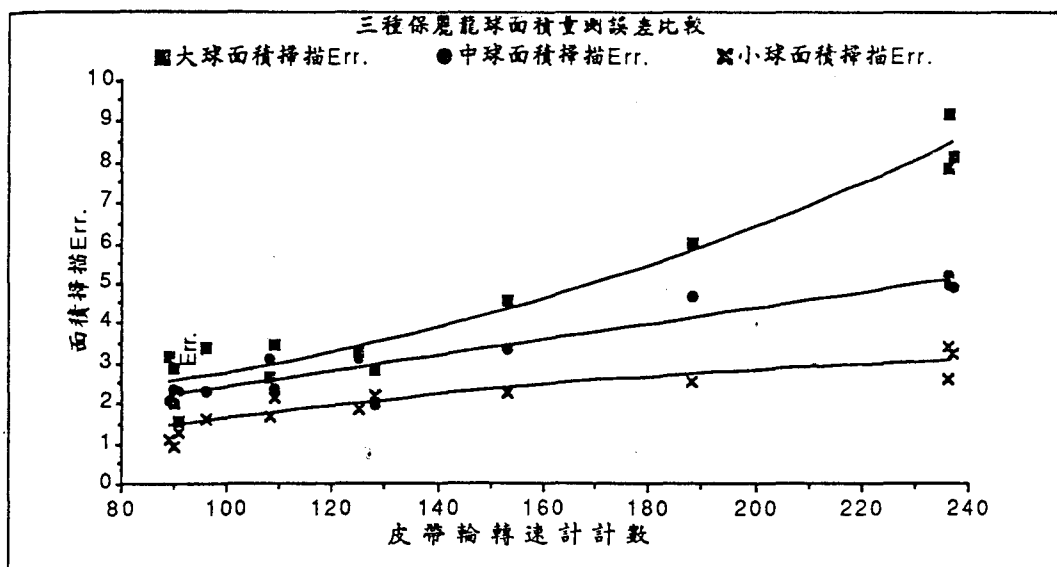
五、投影面積校正實驗



圖十四 果蔬面積掃描流程



圖十五 利用不同尺寸之長方形，在不同皮帶速度下之量測值比較



圖十六 投影面積掃描之誤差情形

在固定的皮帶轉速下，利用不同尺寸之正方形板作試驗，以觀察其線性關係。圖十五所示為不同皮帶速度下之試驗值比較。其中各點數據的標準偏差與平均值的比值都在 6% 以內。誤差之原因可能因樣品通過偵測體時條件之改變（包括皮帶速度變動、試品放置位置與角度不同）所導致。

在同一樣品下，其在各速度曲線上的量測值與標準面積間關係依然呈一倍率的比例變化。以此倍率因子修正系統常數後，依然可得到較接近真實面積的數值。重新設計的系統除了要求一個穩定性較高的馬達外，針對每一樣品將賦予一獨立的系統常數。

六、投影面積掃描的變異分析

圖十六為各種速度下面積掃描誤差的比較。其誤差依球體投影面積增大而放大，此乃起因於小面積誤差的累積所致，小部分則導因於大球曲率小邊緣較模糊，因此遮光效果不好。

在皮帶速度之變化方面，由圖十六所示可知，所得之誤差亦隨速度的增加而增加。這相當積分公式中，微小面積 dA 分割愈細其積分愈接近真實的道理一樣。速度愈快一次掃描的微小面積 dA 愈大，所以誤差隨之增加。

六、結 論

1. 利用陣列式光電晶體量測蔬果的大小之方式，業以發展完成。與以前各種方法比較，本研究所

能提供的解析度雖屬於中等，但却能與農產品之品級工作相互配合，由軟體程式之控制，不但不破壞農產品，而且具有較高的彈性設計，和輕巧等優點。

2. 對於光線散射、干擾等問題，利用一軟體掃描和邏輯運算，可以有效解決。

3. 傳統上皆利用一維的指標作為蔬果大小判斷的依據，本研究除了提供一維水果高度的指標外，另外提供一二維的投影面積指標作為較不規則形蔬果判斷。二維面積的量測具初步雛形，精確度的提高，有賴製作時利用精密加工和系統擁有一具穩定度高的馬達加以配合。

七、參考文獻

1. 馮丁樹、洪慎德，1987。光電式蔬果大小選別裝置之研究。中國農業工程學會七十六年學術研討會論文，141—155頁。
2. 胡錦標，1985。雷射掃描式尺寸測量。雷射光電研討會資料，行政院國科會光電小組主辦。慶齡工業中心出版，臺北。
3. 許書務編譯，1985。光電元件應用技術。全華科技圖書股份有限公司。
4. 黃連進，1979。Z80組合語言程式設計。儒林圖書有限公司。
5. 楊棧雲，1989。光電式蔬果大小選別裝置之研究之研究(二)：矩陣式光電晶體之應用。碩士論文，

- 國立臺灣大學農業工程學研究所，臺北。
6. 葉茂章編著，1986。Z80系統周邊控制電路設計。大眾電子文化事業出版社。
 7. 謝廣文、陳世銘，1988。番茄顏色之光電選別室設計。中國農業工程學報 34(4)：39—46。
 8. Vinh Duc Chau、梅田重夫、毛利建太郎。1983。農產物選別及自動化相關之基礎研究（I）。農業機械學會誌 45(3)：337—341。
 9. Vinh Duc Chau、梅田重夫、毛利建太郎。1984。農產物選別及自動化相關之基礎研究（II）。農業機械學會誌45(4)：467—473。
 10. 山下律也、池田善郎、松尾陽介、中田裕雄。2值畫像處理技術在農產物選別試作。日本農業機械學會關西支部報第48、49、50號連載。
 11. 土井淳多，1976。圖案處理在農作物邊緣之自動計測。農業機械學會誌 38(3)：353—358。
 12. 池田善郎。電腦在農業機械方面之應用—一粒狀蔬果之形狀與硬度之測定。75年度農產加工工程研討會講義，農機中心。頁55—67。
 13. 近藤直、遠藤俊三，1987。果實認識用視覺感應器之研究（第一報）。農業機械學會誌 49(5)：476—482。
 14. 松久次雄、細川明，1983。畫像處理利用於玄米粒質及胴割等定量的測定法。農業機械學會誌45(3)：357—367。
 15. 梅田重夫，1977。農產物之自動選別相關研究。農業機械學會誌38(3)：345—351。
 16. 梅田重夫等，1982。農產物的形狀解析。農業機械學會誌43(4)：599—604。
 17. Bailey W. Mitchell, 1985. Signal Conditioning for Digital Inputs and Outputs to a Microcomputer. Trans. ASAE. 28(3):949-953.
 18. Birth G.S., 1976. How Light Interacts with Foods. ASAE Publication 1976, Quality Detection in Foods, pp. 6-11. St. Joseph, Michigan.
 19. Bryan W. Maw, Harold L. Brewer, Steven J. Thompson, 1986. Photoelectronic Transducer for Detecting Seedlings. Trans. ASAE. 29(4):912-916.
 20. Chen P, 1978. Use of Optical Properties of Food Materials in Quality Evaluation and Materials Sorting. Journal of Food Process Engineering. pp. 307-322
 21. David C. Slaughter, Roy C. Harrell, 1987. Color Vision in Robotic Fruit Harvesting. Trans. ASAE. 30(4):1144-1148.
 22. Guyer, D.E., G.E. Miles, M.M. Schreiber, O.R. Mitchell, V.C. Vanderbilt, 1986. Machine Vision and Image Processing for Plant Identification. Trans. ASAE. 29(6):1500-1507.
 23. E. A. Parrish, Jr. A.K. Goksel, 1977. Pictorial Pattern Recognition Applied to Fruit Harvesting. Trans. ASAE. 1977:822-827.
 24. Elefunken electronic infrared detectors and emitters, laser devices. 1986. Telefunken electronic Inc.
 25. George E. Meyer, Dale A. Davison, 1987. An Electronic Image Plant Growth Measurement System. Trans. ASAE. 30(1):242-248.
 26. Gerald S. Birth, 1979. Radiometric Measurement of Food Quality—A Review. Journal of Food Science. 44: 949-957.
 27. G.E. Rehkugler, J. A. Throop, 1986. Apple Sorting with Machine Vision. Trans. ASAE. 29(5):1388-1397.
 28. J.W. Von Beckmann, N.R. Bulley, 1978. Electronic Size and Color Grader for Tomatoes. Trans. ASAE. 1978:25-30.
 29. Kalman Peleg, 1985. Produce handling packaging and distribution. The AVI Publishing Co. Westport, Connecticut U.S.A.
 30. Kalman Peleg & Yair Ramram, 1975. Optimal Sizing of Citrus Fruit. Trans. ASAE. 1975:1035-1039,
 31. Mohsenin N.N., 1986. Physical properties of plant and animal material. 2nd Edition, Gordon and Breach Science Publishers INC U.S.A.

- 32.M. R. Paulsen, W. F. McClure, 1986. Illumination for Computer Vision Systems. Trans. ASAE. 29(5):1398-1404.
- 33.N. Sarkar, R.R. Wolfe, 1985. Feature Extraction Techniques for Sorting Tomatoes by Computer Vision. Trans. ASAE. 28(3):970-979.
- 34.Peter W. Sites, Michael J. Delwiche, 1988. Computer Vision to Locate Fruit on a Tree. Trans. ASAE. 31(1):257-272.
- 35.R.R. Wolfe, W.E. Sandler, 1985. An Algorithm for Stem Detection Using Digital Image Analysis. Trans. ASAE. 1985:641-644.
- 36.S. Gunasekaran, T.M. Cooper, A.G. Berlage, P. Krishnan, 1987. Image Processing for Stress Cracks in Corn Kernels. Trans. ASAE. 30(1):266-271
- 37.Z80 Microprocessor and Pripherial Handbook. Zilog Co., Ltd.

收稿日期：民國79月1月16日

接受日期：民國79年3月1日

專營 土木、水利、建築等工程
挖土機出租業

地 址：雲林縣口湖鄉下崙村福安路 165 巷 8 號
負責人：王仁甫
電 話：(05)3991041

專營土木、水利、建築等工程
玉霖營造有限公司

負責人：涂樹松
地 址：嘉義市福州五街 15 號
電 話：(05)2354458

專營土木、水利、建築等工程
振展營造有限公司

地 址：嘉義市建成街 128 巷 28 號
電 話：(05)2240469

專營土木、水利、建築等工程
允信營造有限公司

地 址：嘉義市竹村里竹子腳 131 號
電 話：(05)2375317