

採茶機割刀位置控制系統之研製

Development of the Control System of Cutter-height of the Tea-plucking Machine

臺灣大學農業機械
工程學系副教授

謝志誠

J. C. Shieh

臺灣大學農業機械
工程學系教授

王康男

K. N. Wang

臺灣大學農業機械
工程學系講師

歐陽鋒

F. Ou-Yang

摘 要

本研究旨在發展一套具有高度自動控制功能之裝置，使附掛於其上之雙人式動力採茶機能隨茶樹採摘面的起伏，自動作上下高度與弧度的調整。

本裝置中之控制器以 Z-80 微處理機為基礎，量測感測板與茶樹採摘面間的高度差，與設定之範圍作比較，產生正、零、負三種修正訊號，進而改變油壓電磁閥狀態，調整割刀位置。從系統動態反應特性分析中發現，欲得到良好採摘效果所需考慮的系統參數，包括油壓缸速度，死區大小，前進車速，與感測板前置位置等。

本裝置特性模擬分析，顯示控制系統在所選擇系統參數下，對輸入波形有良好的追蹤性。田間試驗，顯示系統之控制功能與機械穩定性良好，但由於感測板接觸面的設計未能考慮茶樹生長太過稀疏之現象，以致於影響採摘效果，若能改進感測板面積大小使其可彈性調整，將可解決此問題。

關鍵詞：茶樹，採茶機

ABSTRACT

In order to keep the cutter of the tea-plucking machine following the variation of the height of tea, a controller for the automation control of height is developed.

Based on a Z-80 microprocessor system, the height of tea is detected and compared with a preset data. After comparison, a control signal is generated and used to change the position of hydraulic solenoid valve.

From the analysis of the dynamic responses of the control model, some parameters such as speeds of oil cylinders, the size of deadzone, the forward speed of a tractor, and the advanced sensor position are discussed to acquire a better plucking effect.

Under laboratory experiments, a PC/AT is used to simulate the functions of the controller. Actual variations of the height of tea

recorded from the fields are used as the input of the control system, and the dynamic responses are measured. Results show that the system is well designed.

Finally, a field experiment is undergone. Results show that the system has stable control and mechanical functions. Enlarging the contacting area of sensors will solve the problems caused by excessively sparse tea in the field.

Key words: Tea, Tea-plucking machine

緒 言

茶樹的採摘方式最早時期係以手採摘方式進行，每人每天僅20公斤左右之採摘量。而後，由於機械夾剪的輔助，使採收量提高至80公斤，等到動力式採茶機的使用後才算大大的提高採茶的作業效率。

以目前茶園所使用的雙人式動力採茶機為例，操作者須以目視和觸感判斷茶樹樹冠的高度，按高度變化調整採茶機割刀的位置。操作中，採茶工因受採茶機和茶菁的重量，機械振動，與噪音等不良操作環境之影響，很容易疲憊，並使採收茶菁品質降低。

近年來，由於社會形態變遷，農村人力外流，導致勞力不足的現象，日益嚴重，若能將採茶機附掛於高架曳引機上，並加上高度控制機構，則操作時只需一人乘坐於曳引機上，控制前進方向與速度，則可減輕作業負擔，並使採茶之品質一致化。

由於茶樹的生長狀況差異與地面高低起伏等因素，使得採茶機之割刀高度不能保持於一固定位置。因此本研究乃希望研製一能隨茶樹採摘面高度變化而自動調整割刀位置之裝置，以解決上述問題，使採茶作業朝向省力化與自動化方向發展。

現有文獻中，中川健治等人^(1,2,3,4,5)，對茶葉採收機割刀位置自動控制作一系列的研究。文中首先定義「適當採摘面」為茶樹樹冠面上新芽與老葉交接處的位置，而感測器所感測的即是適當採摘面的高度變化。並探討壓力板式感測器的壓力大小、形狀、板面積大小等對感測效果的影響。研究結果為：使感測板能有效的壓到適當採摘面位置的擠壓力約為 1.5~2.0g/cm 以上，感測板的面積越大則感測效果越佳，感測板的形狀平板型比圓弧型效果好。

T. L. Kaminski 和 G. C. Zoerb⁽⁶⁾ 利用

二位置開閉控制系統 (Two position on-off control system) 及三位置開閉控制系統 (Three position on-off control system)，研製穀類收穫機割刀高度自動控制。

G. S. Pask, J. N. Wilso, G. L. Zoerb⁽⁷⁾也設計一割刀高度控制系統，能隨穀物高度的變化自動調整割刀和感測器的位置，使切割刀高度與穀物高度能維持一定的比例。

陳智興⁽⁸⁾之採茶機割刀位置控制系統中，感測器由一傾斜平板所構成，平底可隨板底的樹冠高度變化而轉動，同時也帶動一可變電阻產生不同的電壓值。此電壓值經由一微處理機讀入後與設定之電壓範圍作比較，若超過此範圍則做上下與弧度方向之調整。

本研究之目的有三：

- (一)建立控制系統的控制模式理論，進而分析系統的動態反應特性，作為系統操作時之憑據。
- (二)研製一具有自動控制採茶機割刀高度之裝置，使割刀高度位置能隨着茶樹採摘面高度變化而自動作上下與弧度調整。
- (三)進行茶園試驗，以評估系統功能。

控制系統之模式建立與分析

研製之控制系統可以簡化成如圖一所示包括感測板，微處理機控制器，與負荷油壓缸等元件之單一油壓缸控制模式，其中，各組成元件的功能與輸出關係如下：

(一)感測板

感測板之功能在於感測茶樹採摘面之高度，其中，相關之量測若以車架與地面間之距離為基準，則其關係可以圖二之方塊圖表示：

$$\text{車架與地面間之距離} = S + T_h = C + C_h \dots (1)$$

其中，

S：感測板底相對於車架之距離

C : 割刀相對於車架之距離
 C_b : 割刀距地面之垂直高度
 T_b : 採摘面距地面之垂直高度

(二)微處理機控制器

微處理機控制器之功能在於讀入感測板的位置，並與預設之位置比較，以決定油壓缸往正方向、負方向移動，或不作修正。其中，微處理機對於所讀入之資料雖屬於取樣資料 (Sampled Data)，但因為資料之處理速度遠比系統其他機械元件之時間常數快，因此，可將其假設為一連續性之元件。

$$x = S_0 - S \dots\dots\dots(2)$$

$$= +1, \quad x \geq x_0$$

$$y = \phi(x) = 0, \quad -x_0 < x < x_0 \dots\dots\dots(3)$$

$$= -1, \quad x \leq -x_0$$

其中，(見圖一)

S₀ : 設定位置

x : 誤差訊號

x₀ : 誤差容許大小

y : 微處理所決定的修正訊號

當 $-x_0 < x < x_0$ 時不作修正，並將此範圍定義為死區 (Dead Zone)。圖三為微處理機控制器之方塊圖。

(三)負荷油壓缸

由圖四所示之負荷油壓缸受力分析圖發現，油壓缸受到重力，庫倫摩擦力，油壓系統壓力，和油壓缸背壓阻力等作用。

假設油壓缸運動初期的背壓壓力大小與油壓缸速度大小成正比：

$$\text{油壓缸背壓壓力} = f_v \frac{dz}{dt} \dots\dots\dots(4)$$

其中，f_v : 油壓缸背壓阻力係數

1.由靜止往上運動

Z 方向之力平衡方程式為：

$$M \frac{d^2z}{dt^2} + (A_p - A_r) f_v \frac{dz}{dt} = P_r A_r - Mg - f_c = K1 \text{ (常數)} \dots\dots(5)$$

其中，A_p : 油壓缸活塞面積

A_r : 油壓缸活塞桿面積

P_r : 放洩閥設定壓力

f_c : 庫倫摩擦力

M : 採茶機和位置調整機構質量

當 t = t₀ = 0 時 (初始條件)

$$z = 0, \quad \frac{dz}{dt} = 0$$

當 t < t₀ 時

$$z(t) = \frac{K1M}{A_d^2 f_v^2} (e^{-(A_d f_v t)/M} - 1) + \frac{K1t}{A_d f_v} \dots\dots\dots(6)$$

其中，A_d = A_p - A_r

$$\frac{dz(t_0)}{dt} = k$$

因此，油壓缸到達設定速度 k 所需之時間 t₀ 為：

$$t_0 = \frac{-M}{A_d f_v} \ln \left(1 - \frac{k A_d f_v}{K1} \right) \dots\dots\dots(7)$$

2.由靜止往下運動

Z 方向之力平衡方程式為：

$$M \frac{d^2z}{dt^2} + A_p f_v \frac{dz}{dt} = -P_r A_d - Mg + f_c = K2 \text{ (常數)} \dots\dots\dots(8)$$

當 t < t₀ 時

$$z(t) = \frac{K2M}{A_p^2 f_v^2} (e^{-(A_p f_v t)/M} - 1) + \frac{K2t}{A_p f_v} \dots\dots\dots(9)$$

因此，油壓缸到達設定速度 k 所需之時間 t₀ 為：

$$t_0 = \frac{-M}{A_p f_v} \ln \left(1 - \frac{k A_p f_v}{K2} \right) \dots\dots\dots(10)$$

為簡化油壓缸的運動特性，可將油壓缸之運動分解為一具 t₀ 秒遲滯的等速度 k 之運動模式，其方塊圖如圖五所示。

$$\text{其中，} \frac{dC_b}{dt} = k, \text{ (常數)}$$

綜合上述對各組成元件之分析，可將系統之控制模式以圖六所示之方塊圖表示。

圖六所示之方塊圖可在下列條件下，進一步簡化以利分析，圖七為簡化後之方塊圖。

假設條件如下：

1.割刀與感測板最初的相對位置為零，即 C = S₀，因為 C、S₀ 都是固定值。

2.最初的割刀高度 C_b 與樹冠高度 T_b 相同，當 t = 0 時，C_b = C_{b0} = T_b = T_{b0}。

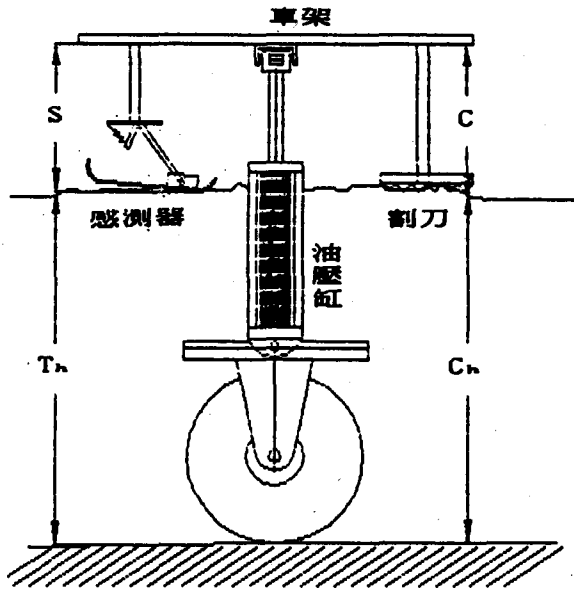
z(t) = C_b(t) - C_{b0} 表割刀高度變化

f(t) = T_b(t) - T_{b0} 表茶冠高度變化

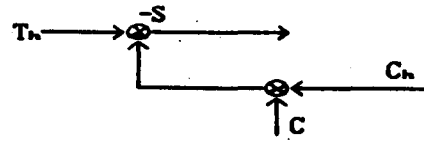
由前述之系統模式中，發現系統之反應可分成二部份：

1.非線性部份

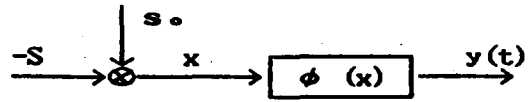
此部份以誤差訊號 x(t) 為基準，當 x(t) 超過 ± x₀ 上下限時，即產生振幅為 ±1 之方形控制



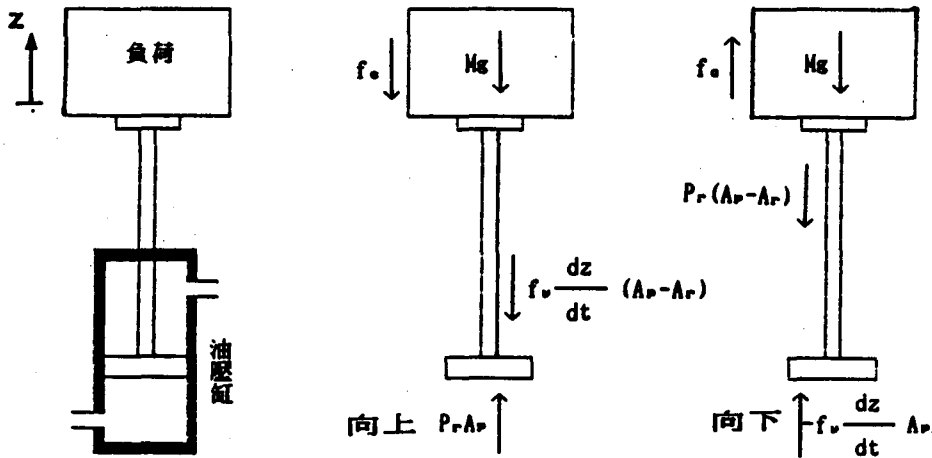
圖一 控制系統組成示意圖



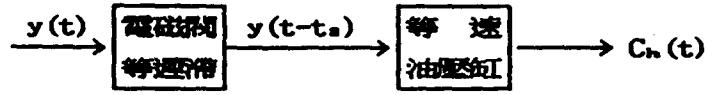
圖二 感測板方塊圖



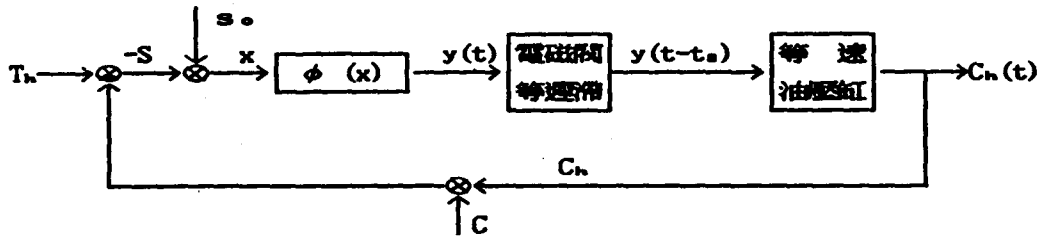
圖三 微處理機控制器方塊圖



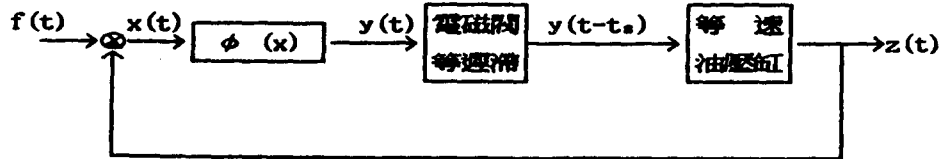
圖四 負荷油壓缸受力分析圖



圖五 負荷油壓缸運動模式方塊圖



圖六 控制系統方塊圖



圖七 控制系統簡化方塊圖

訊號波 $y(t)$ 。

$$Y(s) = \mathcal{L}\{\phi(x(t))\} = \mathcal{L}\{\phi(f(t) - z(t))\} \dots\dots\dots(11)$$

其中， $\mathcal{L}\{\}$ ：拉普拉斯 (Laplace) 函數轉換

至於，方形波之作用時間長短則視 $x(t)$ 之變化而定。其間之關係如圖八所示。圖八中， $t_1, t_2, t_3, \dots, t_k$ 稱之為切換點

2. 線性部份

此部份為具 t_s 時間延遲之線性反應，以 $y(t)$ 為輸入訊號，由於線性反應具有疊加性 (Superposition)，因此，輸出訊號 $z(t)$ 為所有方形波之線性反應 (Linear Response) 之合成。

$$\frac{Z(s)}{Y(s)} = e^{-st_s} \frac{k_v}{s} \dots\dots\dots(12)$$

系統參數之設定

由於田間茶樹採摘面的高度變化起伏不定，為便於分析可將之視為一羣不同角度的三角波之組合。因此在選擇車速，死區大小，和感測器前置距離時，代表田間茶樹採摘面高度變化之三角波角度值則為一重要之參考指標。

(一)、車速

將採摘面高度變化轉換成時間函數 $T_h(t)$ ，則 $T_h(t)$ 對時間之變化率可表式如下：

$$\frac{dT_h(t)}{dt} = \tan\phi = \tan\theta \cdot V_{c.a.r} \dots\dots\dots(13)$$

其中， $\tan\theta$ ：採摘面斜率

$V_{c.a.r}$ ：割刀前進速度 (車速)

由前述之分析中，發現車速大小之決定可以油壓缸之速度與切換點之發生位置不同，可區分成下列三種情形來討論：

1. $k_v > \tan\phi$
2. $k_v = \tan\phi$
3. $k_v < \tan\phi$

以上三種情形中，第三種情形，油壓缸速度太慢，趕不上採摘面之變化，因此，不但容易剪到老的枝芽，而且也有一大部份之茶菁未被採收而浪費。第一種情形，雖然油壓缸的動作較頻繁，但對採摘面的追蹤性效果較佳。而第二種情形，雖然很理想，但是因為系統為非線性系統，對實際茶園中不同的波形變化，因此要作到第二種情形，則車速必須隨之改變，較不可能。

因此，理想之車速為：

$$V_{c.a.r} \leq \frac{k_v}{\tan\theta} \dots\dots\dots(14)$$

(二)、死區大小

死區大小直接影響系統的精確性和穩定性，為了採茶之精度要求，必須滿足：

$$\text{死區大小} = 2|x_0| \leq \text{精度要求}$$

其中，若死區太小則會增加油壓缸的動作頻率，而減低系統之穩定性，反之亦然。

此外，由於油壓缸在向上或向下之運動時，即使電磁閥被微處理機所發出之控制訊號關閉，但因慣性作用，油壓缸可能仍有 t'_a 秒的遲滯時間，因此，必須使死區範圍大於這段遲滯時間內油壓缸所產生之位移 $k_v t'_a$ ，即

$$k_v t'_a < 2|x_0| \leq \text{精度要求} \dots\dots\dots(15)$$

否則系統會不停的切換油壓缸電磁閥，使系統喪失穩定性。

(三)、感測板前置距離

由於感測板感測到茶樹採摘面高度變化超過所設定死區範圍，到油壓缸開始動作間，有一段時間的延遲，因此，若能將感測板的位置放置於割刀前一段適當距離，將可修正此一遲滯現象而獲得較佳的切割位置，此距離定義為感測板的前置距離。

分析系統反應 (即割刀位置) 與感測板位置 (即採摘面位置) 間的遲滯來源主要有二：

1. 油壓缸的慣性

其遲滯時間為 $(t_s + t'_a)$ ，因此，對應於修正此項誤差的前置距離為 $V_{c.a.r} (t_s + t'_a)$ 。

2. 死區範圍

在死區範圍內油壓缸並不作修正必須等到割刀超過死區後才會修正，所以，對應之前置距離修正為 $|x_0|/\tan\theta$ 。

因此，兩項因素合併考慮後，感測器前置距離為

$$S_p = V_{c.a.r} (t_s + t'_a) + |x_0| \cot\theta \dots\dots\dots(16)$$

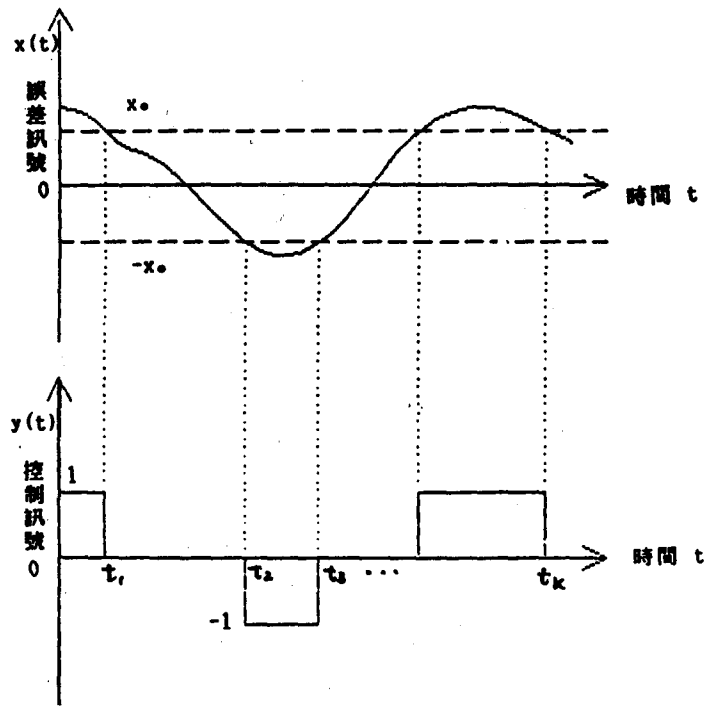
系統裝置與機構設計

研製之控制系統，包括採摘面感測器，採茶機位置調整機構，油壓迴路，與微處理機控制器等。各組成裝置與機構設計說明如下：

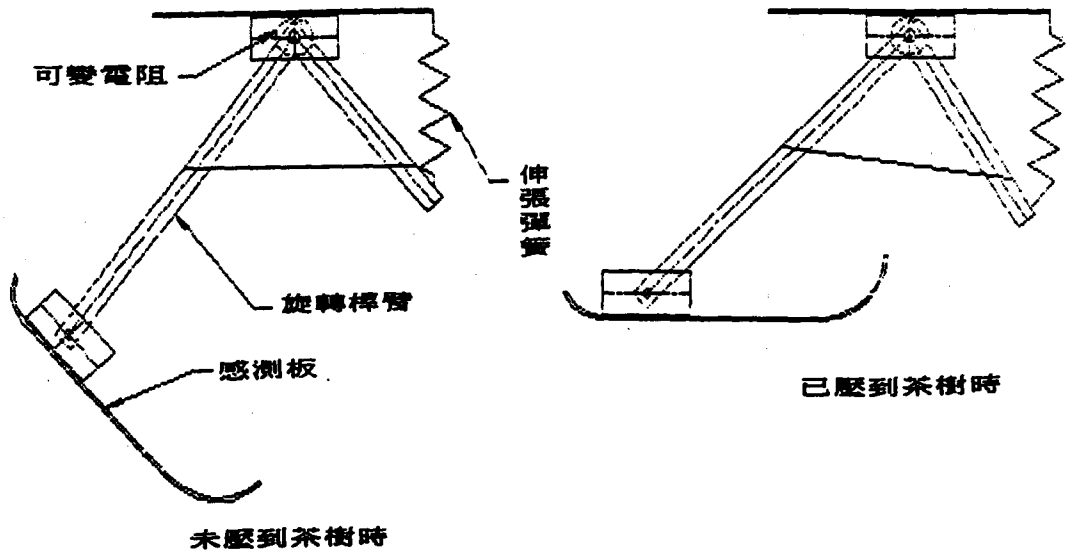
(一)、茶樹採摘面感測器

感測器之組成包括感測板，旋轉桿臂，伸張彈簧，可變電阻，感測板位置調整滑槽 (圖九)。其中，各部份之功能如下：

1. 感測板



圖八 系統誤差訊號與控制訊號圖



圖九 茶樹採摘面感測器示意圖

由 20cm×18cm 的鋁板製成，用來壓擠茶樹樹冠，來感測板沈到適當之採摘面。因為茶樹樹冠表面茶芽的密度疏密不齊，並非一密實的表面，所以設計較大接觸面積的感測板會得到較穩定和平滑的結果。

2. 可變電阻

Bourns 製 10kΩ，線性度誤差為 ±0.2%，10轉的旋轉型可變電阻，轉動角度差值 Δθ (度) 與輸出電壓差值 ΔV (伏特) 間之關係為：

$$\Delta V = \frac{\theta}{3600} \times \text{輸入電壓} = \frac{\theta}{720} \dots\dots\dots(17)$$

3. 伸張彈簧

用來調整感測板所施加在茶樹樹冠的壓力大小。根據中川健治的研究報告中 [1]，擠壓力約在 1.5~2.0g/cm² 時，可以有有效的壓到茶樹採摘面。此外，彈簧亦有防止旋轉桿過度下垂之功能。

4. 旋轉桿臂

用以支撐感測板，使其可在桿端自由轉動以配合採摘面起伏，桿臂另一端接伸張彈簧，藉以對感測板施加壓力。

5. 感測板位置調整滑槽

可用來調整感測板前置距離大小。

(二)、採茶機位置調整機構

本系統設計之採茶機位置調整機構可分成上下、左右及弧度等三方向 (圖十)。其中，

1. 左右調整

由手動按鈕控制油壓缸電磁閥位置，調整採茶機在車架上的左右位置。可節省車子左右移動或拆卸採茶機的時間。

2. 上下調整

可由手動按鈕控制或由自動控制方式調整。

3. 弧度調整

可由自動或手動方式調整，但在自動控制時，控制順序在上下調整之後，只有在上下方向的位置正確時，才會微調此方向的位置，使得採茶機也能配合茶樹樹冠的弧度。

(三)、油壓迴路

油壓迴路內包括油壓泵、引擎、逆止閥、放洩閥、電磁閥、引導逆止閥、節流閥、油壓缸、油箱等元件，圖十一為油壓迴路圖。

(四)、微處理機控制器

本系統之控制器以 Z-80 可程式控制模板為基礎，架構上包括了一顆 Z-80 中央處理單元 (CPU)

、一顆 2732 唯讀記憶體 IC (ROM)，一顆 6116 可讀寫記憶體 IC (RAM)，二顆 8255 可程式周邊介面 (PPI)，一顆 4MHz 時基振盪器、和一個電源復置 (Reset) 電路。詳細系統電路圖見圖十二。

試驗與討論

為測試本裝置之機構設計與驗證所構建之控制系統模式，使研究成果得以早日進入實務應用，本研究分別對負荷油壓缸與整體裝置進行實驗室模擬與田間實際操作試驗。

(一)、負荷油壓缸試驗

本試驗之目的在於記錄油壓缸在負荷狀態下之運動特性，以驗證模式分析中之遲滯時間與油壓缸在電磁閥關閉後因慣性作用繼續運動之時間。

試驗結果發現油壓缸之運動可以一具有 t_s 秒時間遲滯之等速度運動來表示，而油壓缸之速度與 t_s 之大小皆由其兩端之流量控制閥來調整。至於油壓缸在電磁閥關閉後因慣性作用繼續運動之時間 t'_a 極小，可以忽略。

圖十三、十四分別為向上速度 49.97mm/sec，向下速度 56.57mm/sec 之油壓缸運動特性圖，其中，t_s 分別為 0.085sec，0.051sec。

(二)、三角形輸入波之模擬試驗

本試驗之目的在於測試本系統依模式分析結果，對一三角形輸入波之動態反應，並驗證車速對系統反應之影響。

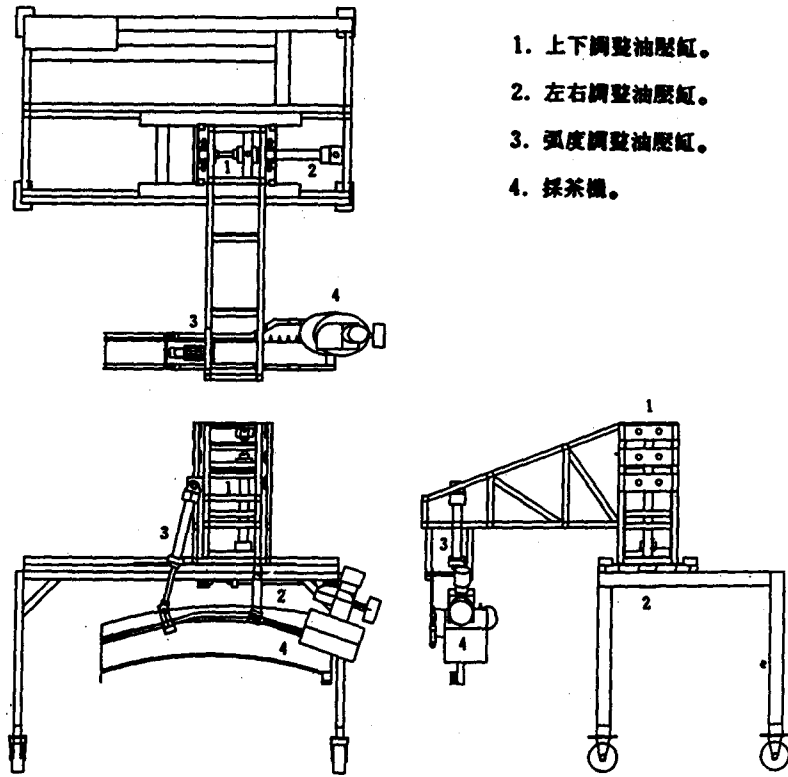
本試驗以前述 (一) 之油壓缸速度進行模擬試驗，在已知之 t_s、t'_a 下，設定死區大小之精度要求為 1cm，三角波之角度為 θ = 45，配合式 (14)、(15)、(16) 所決定之系統參數，記憶割刀之高度位置，並與輸入波形比較。

圖十五、十六、十七分別為車速 49.97cm/sec，70mm/sec，20mm/sec 之模擬結果，試驗結果印證了分析之結論。

(三)、田間取樣採摘面輸入波形之模擬試驗

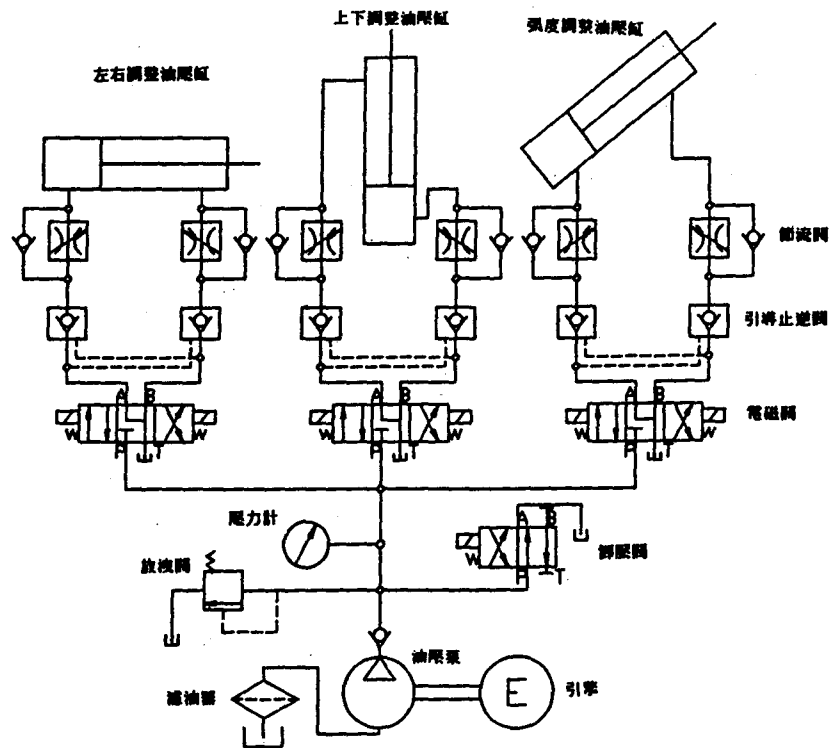
本試驗之目的在於測試本系統對於田間實際採樣取得之採摘面高度變化波之反應。試驗方法與前述 (二) 三角波模擬試驗相似，但是，對於系統參數之選定，則應以採摘面之斜度變化分佈情形，依不同作業糖度要求下所對應之最大斜率變化為依據。

以本研究所取得之數據加以分析，發現其斜率變化在 -10°~10° 範圍內佔 83.87%，-15°~15°

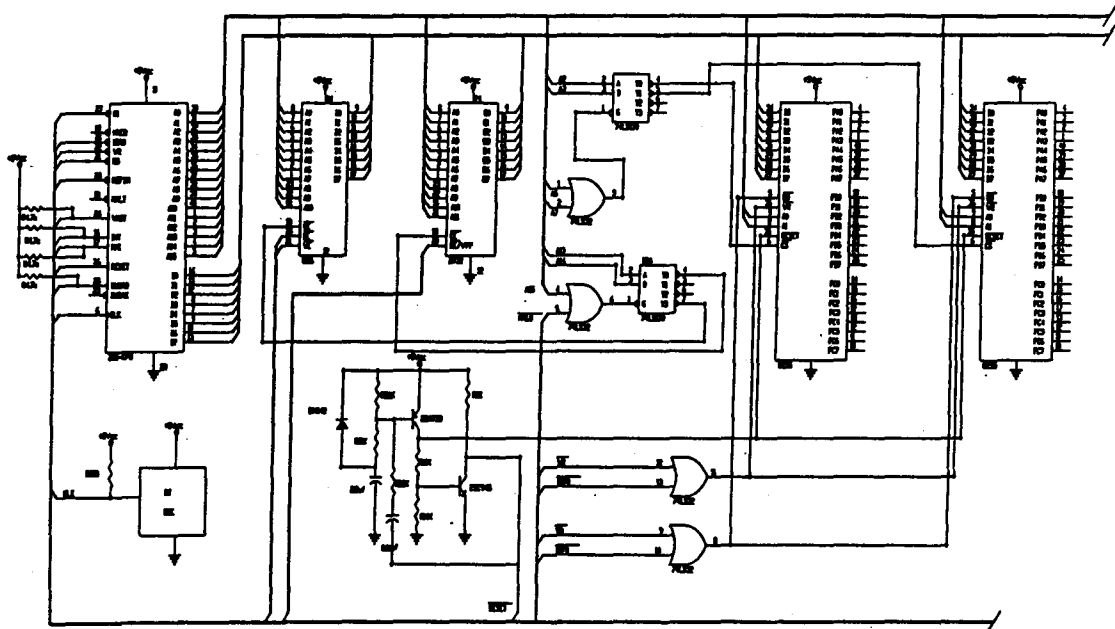


1. 上下調整油壓缸。
2. 左右調整油壓缸。
3. 弧度調整油壓缸。
4. 採茶機。

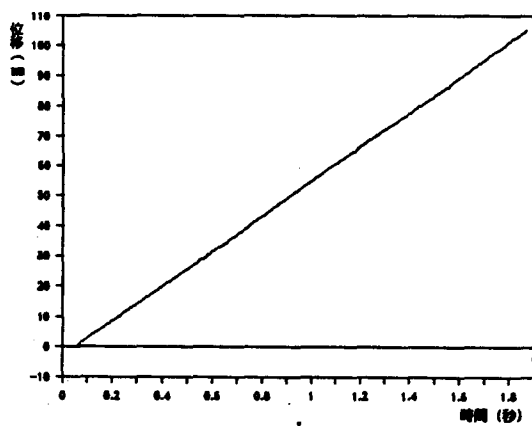
圖十 茶樹機位置調整機構圖



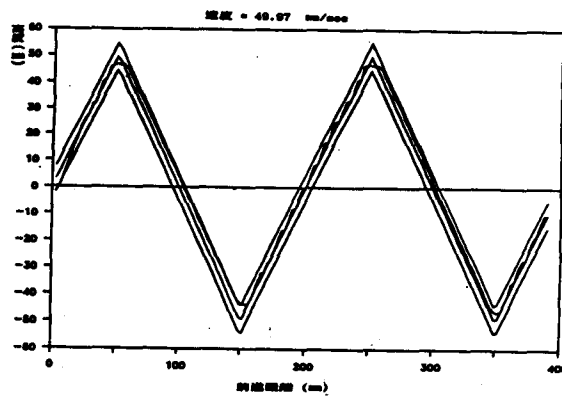
圖十一 油壓迴路圖



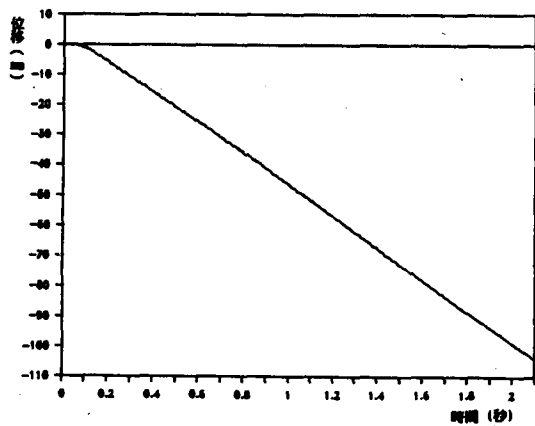
圖十二 Z-80 微處理機系統電路圖



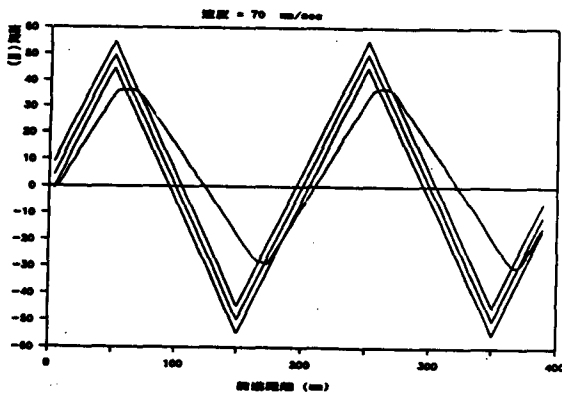
圖十三 油壓缸向上運動特性圖



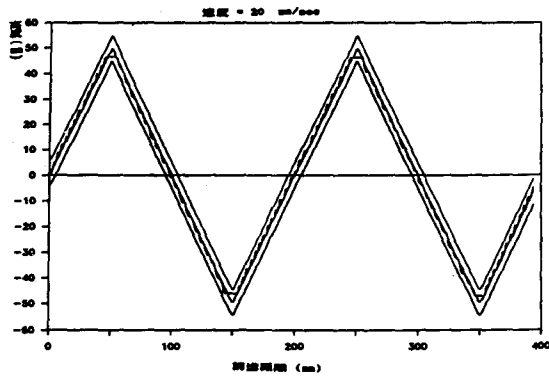
圖十五 三角輸入波之模擬試驗結果一



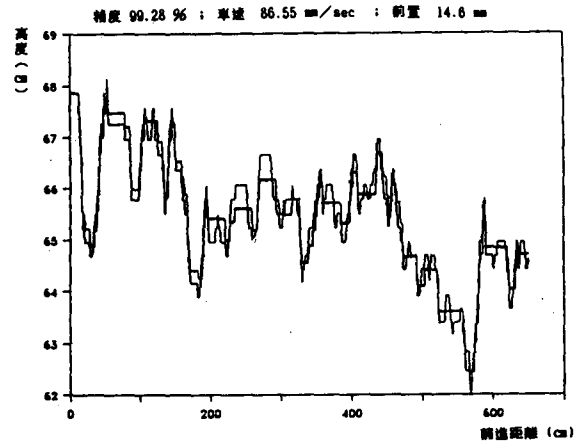
圖十四 油壓缸向下運動特性圖



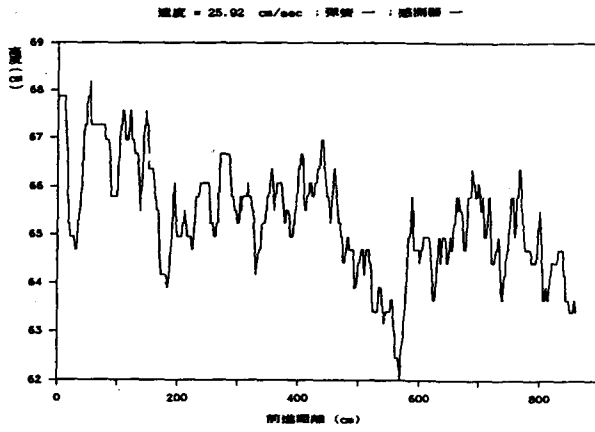
圖十六 三角輸入波之模擬試驗結果二



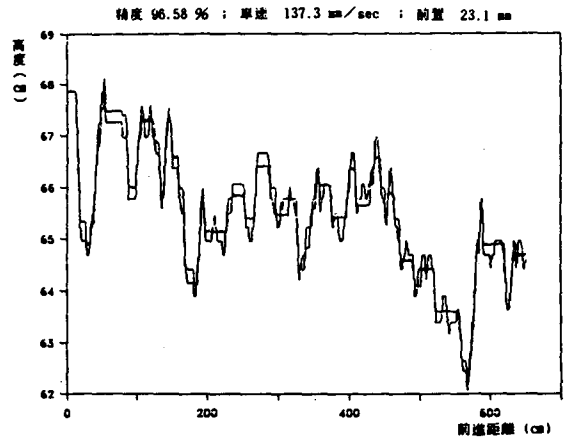
圖十七 三角輸入波之模擬試驗結果三



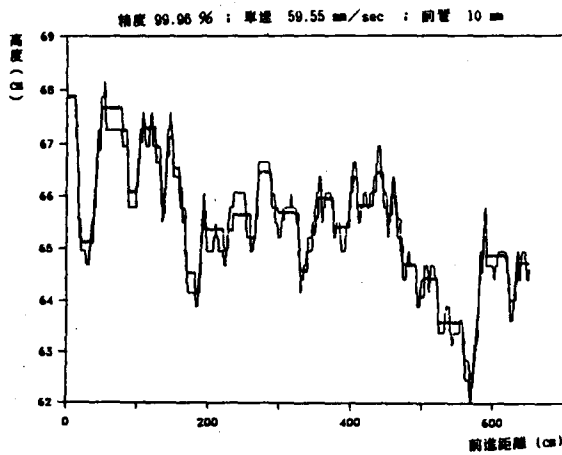
圖二十 田間取樣輸入波形模擬試驗結果二



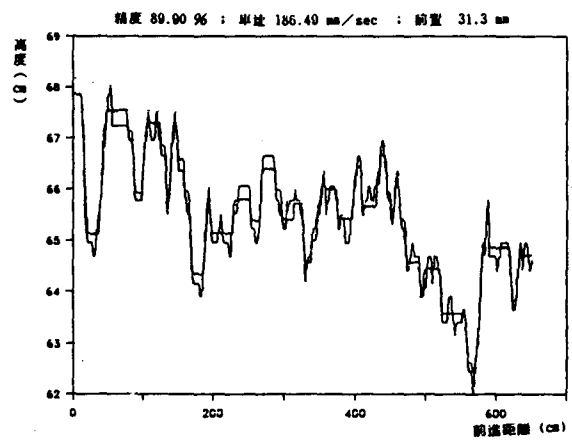
圖十八 茶樹採摘面高度取樣資料圖



圖二十一 田間取樣輸入波形模擬試驗結果三



圖十九 田間取樣輸入波形模擬試驗結果一



圖二十二 田間取樣輸入波形模擬試驗結果四

佔89.90%， $-20^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 佔96.58， $-30^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 範圍內佔99.28%， $-40^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 範圍內佔99.96%。因此，若為提高車速，將田間茶樹採摘面最大斜度變化視為 $\pm 10^{\circ}$ ，仍然可得到83.87%的作業精度。

圖十八為田間茶樹採摘面之高度取樣圖（量測時，前進速度為25.92cm/sec，感測板壓力1.4~1.8g/cm）。

圖十九~二十二為不同精度要求下之模擬試驗結果。

四、田間試驗

本試驗之目的在於測試本系統移至田間實際作業之性能。試驗結果發現：

1. 割刀位置確實能隨茶樹採摘面高度變化作上下與弧度之調整，與實驗室之試驗結果相符。
2. 位置調整機構機械性能穩定。
3. 感測板面積大小未能考慮茶樹過於稀疏之現象，造成感測板陷入凹洞，產生誤判之結果，傷及茶樹。

結論與建議

- (一)、本研究已研製出一能附掛雙人式動力採茶機之割刀位置調整裝置，本裝置可以手動方式調整割刀上下、左右、弧度位置，或以自動控制方式調整割刀上下、弧度位置。本裝置可由人力推動，在茶園中行走。
- (二)、本系統為一三位置控制系統，割刀與茶樹採摘面間之距離由微處理機讀入後與預先設定距離比較，以決定作正、負修正，或者不動作。系統可由一已知角度之三角輸入波以決定油壓缸速度、最大車速、死區大小、感測板前置距離等參數，使割刀對輸入波有良好之追蹤性。
- (三)、田間茶樹採摘面起伏變化，可視為許多不同斜率的三角波之組合。

經取樣分析，發現其斜率分佈為：

1. 採摘面斜度變化在 $-10^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 範圍內佔83.87%
 2. 採摘面斜度變化在 $-15^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 範圍內佔89.90%
 3. 採摘面斜度變化在 $-20^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 範圍內佔96.58%
 4. 採摘面斜度變化在 $-30^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 範圍內佔99.28%
 5. 採摘面斜度變化在 $-40^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 範圍內佔99.96%
- 因此，在設計油壓缸速度、最大車速、死區大小、感測板前置距離等參數時，應按不同的精度要求，以所對應之最大斜度三角波為依據。

(四)、田間試驗結果顯示，本系統之控制功能正常，

機械之穩定性佳，但感測板面積應加大並使其彈性調整大小，以因應較稀疏的茶樹樹冠表面。

- (四)、改進微處理機控制軟體或增加一判斷裝置，防止割刀過度下降。
- (四)、將位置調整機構改裝於高架曳引機上或加裝動力設備，使操作方便。
- (四)、原來採茶機將茶菁吹入收集袋的方式，應改為吸入式，一方面避免感測器被吹管佔去空間，二方面收集帶可置於行走車上。
- (四)、若增大感測板面積，同時將感測板置於割刀後，本系統可作為茶樹剪枝機使用。

致 警

田間試驗承蒙茶葉改良場黃騰鋒課長多方協助，使得試驗得以順利進行，謹此致上謝意。

參 考 文 獻

1. 中川健治，「茶摘機の自動制御」，農業機械學會誌，38(3)，1976，p 467-468。
2. 中川健治，堀部和雄，小坂秀人，近藤一行，村上郁夫，「茶葉採摘機の割刀位置自動制御（第一報）」，農業機械學會誌，41(2)，1979，p 257-261。
3. 中川健治，小坂秀人，近藤一行，「茶葉採摘機の割刀位置自動制御（第二報）」，農業機械學會誌，41(3)，1979，p 429-433。
4. 中川健治，小中俊雄，小坂秀人，「茶葉採摘機の割刀位置自動制御（第三報）」，農業機械學會誌，41(4)，1980，p 581-585。
5. 中川健治，中野不二雄，堀部和雄，大下誠一，近藤一行，「茶葉採摘機の割刀位置自動制御（第四報）」，農業機械學會誌，42(1)，1980，p 85-89。
6. Kaminski T. L., Zoerb G. C., "Automatic Header Height Control for Grain Crops," TRANSACTIONS of the ASAE, 1965, p 284-274。
7. Pask G. S., Wilson J. N., Zoerb G. C., "Automatic-Height Control for Windrowers," TRANSACTIONS of the ASAE, 1974, p 597-602。
8. 陳智興，採茶機割刀位置控制系統之研製，臺大農工所機械組碩士論文，1989。

收稿日期：民國80年 4月16日

接受日期：民國80年 5月28日