

曳引機攜帶作業機進行整地作業路徑自動規劃系統之研製

Development of Automatically Planning Tillage Path System for Tractor Mounted with Implement Worked on Farm

國立臺灣大學農業機械工程學系副教授

謝志誠

Jyh-Cherng Shieh

摘要

本文擬以曳引機在農場執行整地作業之路徑規劃為對象，研製一套能自動產生曳引機在農場之作業路徑之系統為目的。

研製之系統以作業範圍為凸多邊形，且在作業範圍內無障礙物存在之農場整地作業路徑之規劃為限，在已知作業範圍，耕犁工作方法，作業機寬度，作業機附掛位置與方式，曳引機行走間之前進、倒車速度，迴轉速度，迴轉半徑，曳引機之全長、全寬，迴路間距等曳引機操作條件與耕犁策劃條件下，自動決定調頭轉彎方式，並規劃出曳引機之作業路徑，透過螢幕顯示所規劃之路徑與統計之資料，包括淨作業路徑長度，調頭轉彎路徑長度，淨作業時間，調頭轉彎時間等。

關鍵詞：曳引機、作業機、整地、路徑規劃

ABSTRACT

In order to solve the problems of planning of tillage path of tractor mounted with implement worked on farm, an automatically planning tillage path system is developed.

This system is used to generate the tillage path of tractor mounted with implement worked on farm with convex polygonal configuration. The path planning problems for such field are under a constrain: no obstacle exists within the boundaries of the field. The information needed by this system for path planning includes the shape of the field, the method of tillage, and the operating conditions of tractor. The operating conditions consist of length, width, forward speed, backward speed, turning speed, turning radius, loop gap, implement width, implement position. With those information, this system will determine how the tractor changes direction and the tillage path automatically.

In this system, the planned path of tractor is viewed in graphic images. Upon completion of planning, the total length of traversed path and working time are produced.

Keywords: Tractor, Implement, Tillage, Path Planning

一、前言

本研究係以田間之犁地、耙地等整地工作為對象，探討曳引機在凸多邊形型態之作業範圍內之工作方法，並研製出一套軟體系統，以能在已知之作業範圍中，依所指定之曳引機條件與工作方法，自動規劃出曳引機在農場內之作業路徑。所謂曳引機之犁地、耙地等整地工作法，係指曳引機在田間之行駛方法與行駛路徑。以犁地工作為例，因犁地工作為其他後續工作之基本工作，其效率攸關後續所要實施之各項工作，因此在實施上，除了考慮曳引機，作業機之種類、形狀與特徵外，必須對農場加以觀察，確定農場之形狀、障礙物、土壤條件等因素，以決定採用何種工作方法與調頭轉彎方式。在決定工作方法後，即需進行包括確定應留出若干頭地（Headland），來回耕犁區域劃分，背壟（Backfurrow）、死壟（Deadfurrow）應置於何處等問題之策劃與準備，然後方能進行耕犁工作。雖然各項觀察與規劃工作相當繁瑣，但因其關係著整體工作之能否順利進行與效率，故應依序確實遵循。

依照農場形狀之不同，常用之工作方法包括以連續耕法（Continuous Plowing）為主體之規劃法與以來回耕法（Return Plowing）為主體之規劃法等二種。以連續耕法為主體之工作方法中，應於農場之中心部份劃分出與農場成相似形狀之小塊區域實施來回耕法，主要用於面積不大而近似於正方形，甚至於為多邊形狀之農場。以來回耕法為主體之工作方法中，則沿農場周邊劃分出一定寬度之頭地，以決定實施來回耕法犁地之範圍，於完成中心部份之來回式耕犁作業後，再以連續耕法處理頭地；其中，實施來回耕法之部份，依土壤之翻覆方向來看，則可分為由農場或所劃分區域之外側向中央（死壟）逐漸靠壟予以翻覆之外轉耕法（Casting），由農場或所劃分區域之中央（背壟）逐漸向外側予以翻覆之內轉耕法（Gathering），與由一側之末端逐漸向另一末端予以同向翻覆之單向耕法（Sequencing）等三種。對於較大面積且低傾斜度之農場，通常在實施來回耕法之範圍內區分成若干部份，合併或交互實施內轉耕法與外轉耕法，以維持農場之平坦，但對於傾斜地區或特殊形狀之農場，或採用雙用犁（Alternative Plow）者，則多採用單向耕法。（川廷，1966）；（庄司，197

3）；（園村等，1975）；（Wilkinson and Braunbeck，1977）

本研究發展之電腦軟體系統以作業範圍為凸多邊形，且在作業範圍內無障礙物存在之農場之作業路徑之規劃為限。經由耕犁工作法之指定，曳引機操作條件與耕犁策劃之設定，作業範圍座標之輸入，依所訂之規劃準則，自動決定最適當之調頭轉彎方式，並產生曳引機之作業路徑，透過螢幕顯示所規劃之路徑與統計之資料，包括淨作業路徑長度，調頭轉彎路徑長度，淨作業時間，調頭轉彎時間等。

二、系統功能與路徑規劃準則

本軟體系統之功能，以能涵蓋農場犁地、耙地等整地工作中常用之工作法為準則，並且能依農場之形狀，曳引機，與耕犁策劃等條件，自動決定曳引機之調頭轉彎方式與作業路徑，以達到提高耕地作業，減少殘餘地之目標。

其中，所涵蓋之作業工作法包括以連續耕法為主體之路徑規劃法與以來回耕法為主體之路徑規劃法；曳引機之條件包括作業機寬度、曳引機行走間之前進、倒車速度，迴轉速度，迴轉半徑，曳引機之全長、全寬，迴路間距，作業機附掛方式，附掛位置與曳引機之距離，與曳引機之調頭轉彎方式限制條件；耕犁策劃條件包括頭地寬度（以來回耕法為主體）或實施來回耕法區域距離農場邊界之寬度（以連續耕法為主體）之指定，連續耕法部份之迴轉方向，與來回耕法部份之區域劃分與各區域內之土壤翻覆耕法，包括內轉耕法，外轉耕法、單向耕法等；至於曳引機所能採用之調頭轉彎方式則包括連續耕法中之L字形調頭轉彎法，△字形調頭轉彎法，α字形調頭轉彎法，與來回耕法中之U字形調頭轉彎法，▽字形調頭轉彎法，8字形調頭轉彎法，Ω字形調頭轉彎法等。

為避免犁耕完成之農地受曳引機之二次行駛破壞與連續作業之要求，作業程序通常採由內而外之方式進行，基於系統設計之方便與受制於計算順序之限制，本系統對於路徑之規劃一律採用由外而內之計算程序進行，對於採用由內而外之耕犁工作法者，則將計算所得之路徑予以堆疊，採先進後出之原理取得實際之作業路徑。因此，文中為區別此差異，將計算之路徑稱為程式路徑以別於實際之作業路徑，而程式路徑之計算以作業機械之幾何中心位

置為參考。

本系統對於作業路徑之規劃與調頭轉彎方法之決定準則如下：

(一)連續耕法迴路與來回單向耕法之兩連續迴路間距，或來回內、外轉耕法之兩相鄰迴路之間距以小於或等於作業機之寬度為宜，以免產生殘餘地。

(二)實施連續耕犁之頭地部份，最外周之路徑距離農場邊界之寬度為作業機寬度之半。

(三)實施連續辦法時，若在曳引機之前方向有足夠之迴轉空間則採用 α 字形調頭轉彎，若無充裕之空間則採用附有倒車之 Δ 字形調頭轉彎法，但對於最外周路徑之轉彎則採用如圖1所示之兼具前進、倒車、L字形調頭轉彎、倒車、前進等步驟之調頭轉彎法。其中，前進路徑距邊界之距離為曳引機車長之半，轉彎後之倒車路徑距邊界之距離等於作業機作業位置與曳引機中心參考點之距離。其中迴轉空間是否充裕之定義為：轉彎前後之程式路徑與邊界之距離同時大於或等於迴轉半徑之二倍，與作業機寬度之半（若曳引機之寬度之半較大時，以曳引機之寬度之半為準）之和。

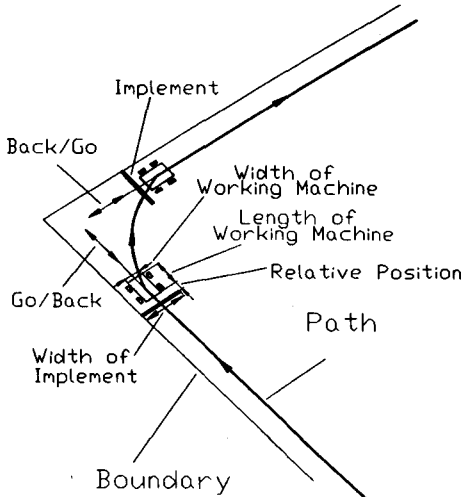


圖1 農地邊界之調頭專彎步驟

(四)實施來回耕法時，若迴轉半徑小於或等於兩連續迴路間距之半，則採用U字形調頭轉彎法。若迴轉半徑大於兩連續迴路間距之半，且曳引機之前方向有足夠之迴轉空間，則優先考慮採用 Ω 字形調頭轉彎法，當無充裕之空間時，則採用附有倒車之 ∇ 字形調頭轉彎法。其中迴轉空間是否充裕之定義為：頭地寬度大於或等於迴轉半徑之三倍以上，與作業

機寬度之半（若曳引機之寬度之半較大時，以曳引機之寬度之半為準）之和。

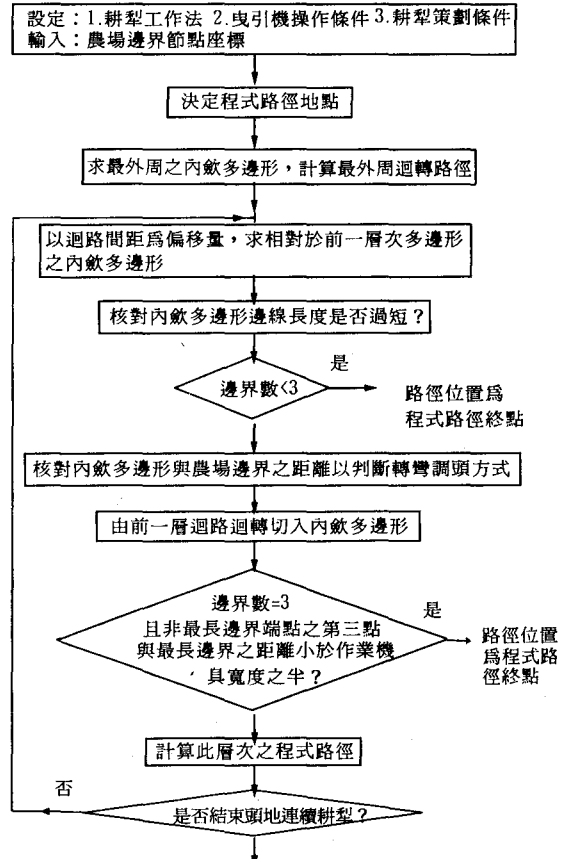
(五)為避免非矩形農地在實施來回耕犁之迴路調頭處產生殘餘地，來回程迴路之調頭迴轉中心在迴路方向之分量，調整為以距離去程起點較大者為準；迴轉中心之計算以頭地部份最內層迴轉迴路為參考。

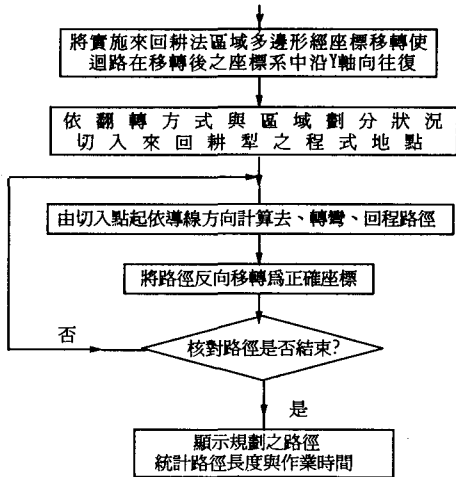
(六)以連續耕法為主體之工作法中，若不在中心位置指定實施來回耕法，則程式路徑終點（作業路徑之起點）之判斷標準為程式迴路邊界數小於3，或邊界數等於3，且非最長邊界端點之第三點與最長邊界之距離小於作業機寬度之半。

(七)來回單向耕法程式路徑之終點（作業路徑之起點）之判斷為計算之程式迴路與構成頭地邊界多邊形距離第一邊線最遠之節點之距離小於迴路間距之半。

(八)連續耕法部份之程式路徑之旋向由作業邊界節點輸入順序決定之，並以第一邊界內側作業機半寬度距離作為程式路徑之起點，而來回耕法之來回迴路以第一、二個邊界節點之連線方向為導向參考。

三、系統操作與路徑計算流程





四、計算方法

程式系統中關鍵性之計算方法與步驟如下：

(一)連續式路徑計算法

連續式路徑之計算包括內斂多邊形之產生，多邊形節點處之調頭路徑，與各迴轉層次間之銜接路徑等。

1.內斂多邊形之產生

- (1)節點 $i = 1$ ，分別以節點 $i - 1$ 、 $i + 1$ 為參考，求與節點 i 之兩側邊線平行間距為迴轉迴路間距之兩平行線。
- (2)求所產生之兩平行線之交點 i' ，為節點 i 之於內斂多邊形之節點。
- (3) $i = i + 1$ ，重覆上述步驟至最後一節點。
- (4)依序核驗 $i' - 1$ 、 i' 與 $i - 1$ 、 i 是否同向，若不同向，則重疊 i' 與 $i' - 1$ 之座標並重置為 $i' + 1$ 、 i' 與 $i' - 1$ 、 $i' - 2$ 之交點。

2.L字形調頭轉彎法(圖2)

(1)核對邊線長度是否過短?

假設迴路由 C 點沿多邊形邊線進入 \overline{AB} ，則對邊線 \overline{AB} 而言，若其長度符合下列條件，則定義邊線長度過短。

$$\overline{AB} < \frac{R}{\tan \frac{\theta a}{2}} + \frac{R}{\tan \frac{\theta b}{2}}$$

其中， R 為曳引機之迴轉半徑， θa 與 θb 分別為多邊形在節點 A 與 B 處之夾角。若邊線 \overline{AB} 過短，則節點 A 之座標以 C 與 B 之交點取代，而節點 B 座標以 D 點取代，多邊形邊界數減一。

- (2)分別以節點 C 、 B 為參考，求與 \overline{AB} 、 \overline{CA} 平行間距 R 之平行線 $\overline{A'B'}$ 、 $\overline{C'A''}$ 。
- (3)計算 $\overline{A'B'}$ 、 $\overline{C'A''}$ 之交點 (X_c, Y_c) ，為調頭路徑之迴轉中心座標。
- (4)分別計算 (X_c, Y_c) 在 \overline{CA} 、 \overline{AB} 之投影點 (X_s, Y_s) 、 (X_e, Y_e) ，為調頭路徑之起、終點座標。

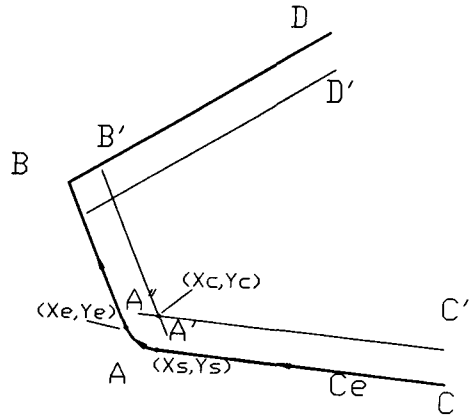


圖2 L字形調頭轉彎法

3.△字形調頭轉彎法(圖3)

(1)核對邊線長度是否過短?

假設迴路由 C_e 點沿多邊形邊線進入 \overline{AB} ，則對邊線 \overline{AB} 而言，若其長度符合下列條件，則定義邊線長度過短。

$$\overline{AB} < \frac{\text{迴路間距}}{\cos(\theta a - \frac{\pi}{2})}$$

若邊線 \overline{AB} 過短，則節點 A 之座標以 \overline{CA} 與 \overline{BD} 之交點取代，而節點 B 座標以 D 點取代，多邊形邊界數減一。

- (2)參考“L字形調頭轉彎法”之步驟(2)~(4)。

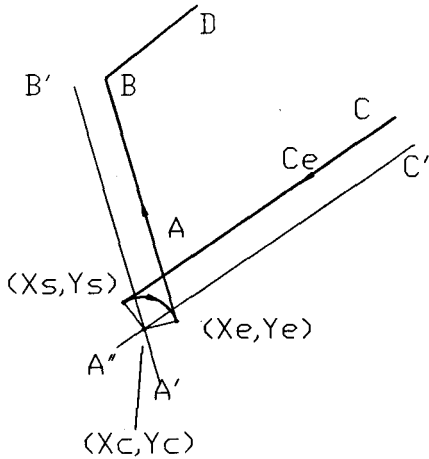


圖3 △字形調頭轉彎法

4. α字形調頭轉彎法(圖4)

參考“△字形調頭轉彎法”。

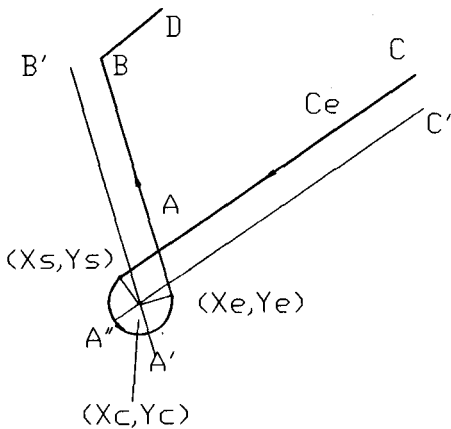


圖4 α字形調頭轉彎法

5.各層次迴路之銜接路徑(圖5)

設abcde為ABCDE之內斂多邊形，則外層迴路與內斂多邊形間之銜接路徑，以由Ee沿EeA'進入A'ab之調頭方式處理之。其中，A'為EA與ab之交點(圖5所示為L字形調頭轉彎法)。

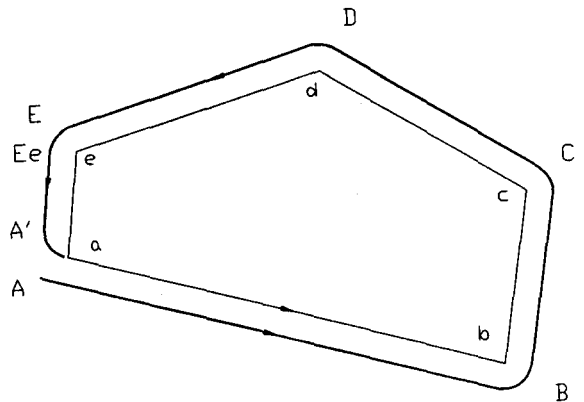


圖5 各層次迴路間之銜街

(二)來回式路徑計算法

來回式路徑之計算包括頭地部份之迴轉迴路，頭地與來回迴路之銜接路徑，各來回迴路去回程處之調頭路徑，與座標轉換等；前兩者如上所述，而各種調頭方法分述如下，其中，每一來回迴路之回程及終點自動轉為次一迴路之去程及起點(Xs, Ys)，而回程之終點止於完成調頭轉彎處；為避免在調頭轉彎處產生殘餘地，將頭地邊界線外移至頭地最內層迴路上。

各方法中皆以最長之邊界為參考，求取與其平行之去程路線(BgAg)，去程調頭迴轉中心線(AcBc)，回程迴轉中心線(CcDc)，與回程路線(CrDr)，其中，去回程路線係用以確認與迴路相交之頭地邊界線，而去回程迴轉中心線則用以求取去回程調頭迴轉中心(Xgc, Ygc)、(Xrc, Yrc)(與頭地邊界線之交點)。系統為確保殘餘地最少，將去回程調頭迴轉中心調整為(Xgc, Yc)與(Xrc, Yc)，其中：

$$\text{if}(\text{fabs}(\text{Ygc}-\text{Ys}) > \text{fabs}(\text{Yrc}-\text{Ys}))$$

$$\text{Yc}=\text{Ygc};$$

else

$$\text{Yc}=\text{Yrc};$$

1.U字形調頭轉彎法(圖6)

(1)求取AgBg、AcBc、CcDc、CrDr。

(2)確認與迴路相交之頭地邊界線，求(Xgc, Ygc)、(Xrc, Yrc)。

(3)計算迴轉中心座標(Xgc, Ygc)、(Xge, Yge)。

(4)計算去程調頭迴轉路徑之起終點(Xgs, Ygs)、(Xge, Yge)。

其中, $X_{gs} = X_{gc} - \text{sign}(X_{gc} - X_1) R$
 $Y_{gs} = Y_{gc}$
 $X_{ge} = X_{gc}$
 $Y_{ge} = Y_{gc} + \text{sign}(Y_{gc} - Y_s) R$
 X_1 為最長邊線之起始節點 X 軸座標。

(5) 計算回程調頭迴轉路徑之起終點 (X_{rs}, Y_{rs}) 、 (X_{re}, Y_{re}) 。

其中, $X_{rs} = X_{rc}$
 $Y_{rs} = Y_{rc} + \text{sign}(Y_{rc} - Y_s) R$
 $X_{re} = X_{rc} + \text{sign}(X_{rc} - X_1) R$
 $Y_{re} = Y_{rc}$

(6) 來回迴路為 $(X_s, Y_s) - (X_{gs}, Y_{gs}) \rightarrow (X_{ge}, Y_{ge}) - (X_{rs}, Y_{rs}) \rightarrow (X_{re}, Y_{re})$ 。

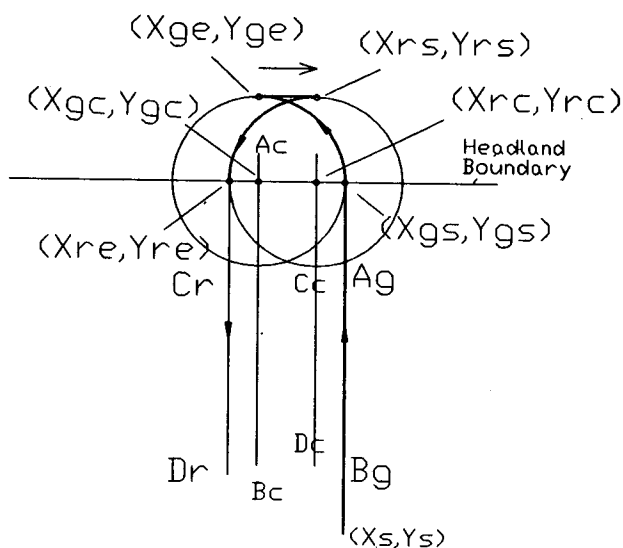


圖 7 ▽字形調頭轉彎法

3.8 字形調頭轉彎法 (圖 8)

參考“U字形調頭轉彎法”之步驟：(1)~(6)。

但“8”字頭部份之迴轉中心 (X_{ec}, Y_{ec}) 為

$$X_{ec} = (X_{rc} + X_{gc}) / 2$$

$$Y_{ec} = Y_{rc} + \text{sign}(Y_{rc} - Y_s) [4R^2 - (X_{ec} - X_{rc})^2]^{0.5}$$

$$X_{ge} = X_{gc} + (X_{ec} - X_{gc}) / 2$$

$$Y_{ge} = Y_{gc} + (Y_{ec} - Y_{gc}) / 2$$

$$X_{rs} = X_{rc} + (X_{ec} - X_{rc}) / 2$$

$$Y_{rs} = Y_{rc} + (Y_{ec} - Y_{rc}) / 2$$

來回迴路為 $(X_s, Y_s) - (X_{gs}, Y_{gs}) \rightarrow (X_{ge}, Y_{ge}) - (X_{rs}, Y_{rs}) \rightarrow (X_{re}, Y_{re})$ 。

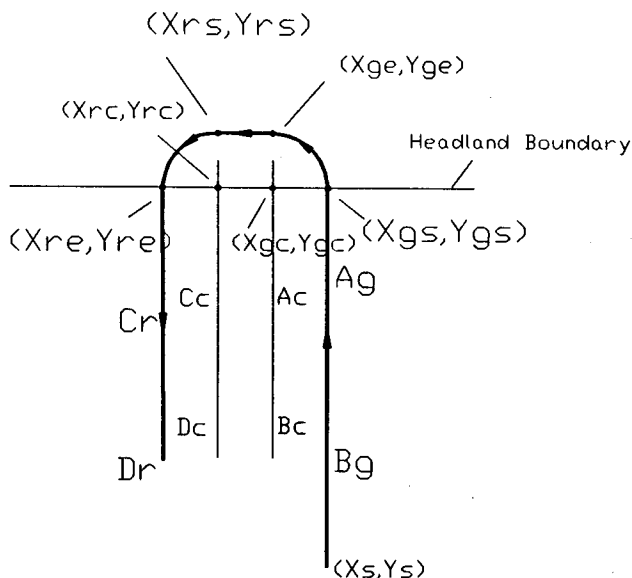


圖 6 U 字形調頭轉彎法

2. ▽字形調頭轉彎法 (圖 7)

參考“U字形調頭轉彎法”之步驟：(1)~(6)。但迴路中 $(X_{ge}, Y_{ge}) - (X_{rs}, Y_{rs})$ 為倒車路徑。

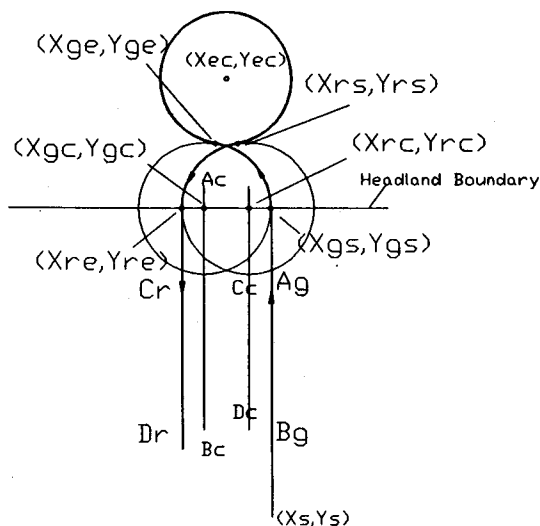


圖 8 8 字形調頭轉彎法

4. Ω 字形調頭轉彎法 (圖 9)

參考「8 字形調頭轉彎法」，但 \overline{AcBc} 、 \overline{CcD} 之計算與上述各方法反向，且「Ω」字頭之旋向與「8」字頭者相反。

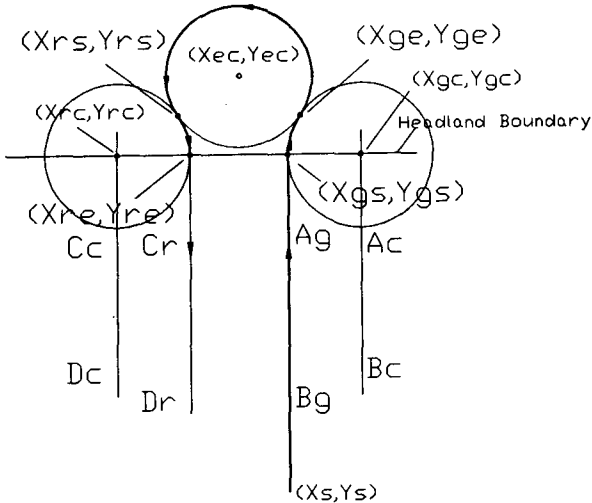


圖 9 Ω 字形調頭轉彎法

5. 座標轉換法

利用下列平移 [T] 與迴轉 [R] 矩陣使頭地邊界多邊形之最長邊界之起始點移至零點並指向 +Y 軸：

$$[T] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -x_1 & -y_1 \end{bmatrix} \quad [R] = \begin{bmatrix} m & -1 \\ 1 & m \end{bmatrix}$$

其中， (x_1, y_1) 為最長邊界之起始點座標。

l, m 為最長邊界之方向餘弦角值。

即移轉後之座標點 $P' = P [T] [R]$ 。

至於計算所得之路徑資料亦須經反向移轉回到真實位置：

即真實座標點 $P = P' [R'] [T']$

$$[T'] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ +x_1 & +y_1 \end{bmatrix} \quad [R'] = \begin{bmatrix} m & l \\ -1 & m \end{bmatrix}$$

五、模擬與討論

本研究可在已知農場形狀，耕犁工作法，曳引機操作條件，與耕犁策劃等條件下，自動決定曳引機之調頭轉彎法，並規劃出曳引機之作業路徑。為

為核驗研製之系統之可行性，列舉一凸六邊形與矩形之農場，以相同的曳引機操作條件（台灣省政府農林廳，1992），分別模擬其實施以來回耕法為主體與以連續耕法為主體之耕犁作業之情形，並就不同之耕犁策劃條件討論其差異性。

圖 10 為系統中有關耕犁工作法，曳引機操作條件，與耕犁策劃條件之設定畫面，其中有關實施來回耕法部份之區域劃分係以平行第一、二個節點連線之方向，朝農場之另一側作等寬度劃分，並依序予以編號，畫面中之區域序號係依策劃之區域數自動展示，以便指定土壤翻覆耕法。至於有關農場形狀之邊界節點座標則可自檔案中讀取，或在轉入模擬畫面後以鍵盤或滑鼠輸入。

曳引機攜帶作業機進行整地作業路徑自動規劃系統

耕犁工作法：(0.系統結束 1.以連續耕法為主體
2.以來回耕法為主體)

曳引機操作條件：(時間單位：sec, 長度單位：mm)

曳引機長度：3000 曳引機寬度：1000
 曳引機前進速度：900 曳引機倒車速度：500
 曳引機迴轉速度：600 曳引機換檔時間：5
 曳引機迴轉半徑：1400 迴路間距：3000
 作業機寬度：3000 作業機與曳引機距離：600
 連續耕法調頭方式之限制：0 (0.無 1.L形 2.△形 3.α形)
 來回耕法調頭方式之限制：0 (0.無 1.U形 2.▽形 3.8形 4.Ω形)

耕犁策劃條件：

頭地寬度：
 實施來回耕法部份劃分區域數目：
 各區域內之土壤翻覆耕法：(1.內轉耕法 2.外轉耕法 3.單向耕法)

區域1： 區域2： 區域3： 區域4：
 農場邊界節點座標：(1.讀取檔案 []
 2.直接輸入)

請確認上述資料 <Y/N>： .

圖 10 系統設定畫面與範例中所設定之資料

表一與表二分別列出凸六多邊形與矩形農場在不同耕犁策劃條件之模擬結果統計資料，資料中之淨作業時間與淨作業路徑長度為曳引機執行前進式線性或迴轉作業之時間與路徑和，調頭迴轉時間與調頭迴轉路徑長度為曳引機執行調頭迴轉，換檔，倒車之時間與路徑之和。

表一 凸六多邊形農場在不同策劃條件下之模擬結果比較

範例編號	工作法	耕犁策劃條件			模擬結果				圖號
		分耕區法	頭地寬度	耕作旋向	淨作業時間	調頭轉彎時間	淨作業路徑長	調頭轉彎路徑	
1	連續耕法為主體	全區單向耕法	21000	1>2>3>4>5>6	4931	803	443824	407575	11
2			21000	2>3>4>5>6>1	4932	836	443900	427383	
3		21000	3>4>5>6>1>2	4938	885	4444183	457457		
4		15000	1>2>3>4>5>6	4920	694	4428716	342602		
5			27000	1>2>3>4>5>6	4927	919	4434353	477147	

(註) 凸六多邊形農場之節點邊號與座標為：1.(175000,75000)2.(90000,130000)3.(25000,75000)4.(25000,25000)5.(950000,10000)6.(175000,25000)

表二 矩形農場在不同策劃條件下之模擬結果比較

範例編號	工作法	耕犁策劃條件			模擬結果				圖號
		分耕區法	頭地寬度	耕作旋向	淨作業時間	調頭轉彎時間	淨作業路徑長	調頭轉彎路徑	
6	來回耕法為主體	1外2內3外	12000	1>2>3>4>	5726	829	5153100	567085	12
7			12000	1>2>3>4>	5450	778	4905100	526389	
8		1外2內3外	12000	2>3>4>1>	5266	1479	5153100	1121627	
9			3內2外3內4外	12000	1>2>3>4>	5726	737	4905100	484669
10		1內2外		12000	1>2>3>4>	5450	958	4905100	1026526
11		1內	12000	1>2>3>4>	5175	1329	4657100	1026526	
12		1內	18000	1>2>3>4>	5195	1010	4675500	802912	
13		1內	24000	1>2>3>4>	5215	925	4693900	627297	

時間單位：秒 長度單位：公尺

(註) 矩形農場之節點編號與座標為：1.(25000,25000)2.(205000,25000)3.(205000,145000)4.(25000,145000)

(註) "1外表示第一區為外轉耕法

模擬結果顯示：

(一)不同之耕犁旋向與迴路導向對淨作業時間與路徑長度之影響不大，但對總作業時間則有所影響。

(二)以最長邊作為迴路導向者，其所需之調頭迴轉次數最少，所需之總作業時間最短。

(三)頭地寬度之大小對淨作業時間與路徑長度之影

響不大，但對總作業時間則有所影響。

(四)頭地寬度較小者，其所需之調頭迴轉次數最少，所需之總作業時間最短。

(五)不同之耕犁策劃條件對淨作業時間與路徑之關係不大，但由於策劃條件之不同，所採用之曳引機調頭轉彎方式與次數亦不同，因此對於所需之總作業時間產生影響。

六、結 論

(一)實施連續耕法時之調頭轉彎法中，以L字形調頭轉彎法所需作業時間與作業路徑長度最短，但卻在轉彎處留下殘餘地，不符連續耕犁之原則，故除非特別指定，否則不予考慮。

(二)連續耕法中，採用α字形調頭轉彎法所需總作業路徑長度比△字形調頭轉彎法者較長，但因後者在轉彎處為倒車路徑，需要兩次之換檔動作，因此總作業時間反而較不經濟，且操作難度較高。

(三)來回耕法之調頭轉彎法中，以U字形調頭轉彎法所需作業時間與作業路徑長度最短，但在兩連續迴路間距小於迴轉半徑之兩倍時則無法使用。

(四)來回耕法中除U字形調頭轉彎外，以採用▽字形調頭轉彎法所需之總路徑長度最短，Ω字形其次，8字形最長，但對▽字形調頭轉彎法而言，因涉及倒車動作，操作難度最高。

(五)為避免在來回耕法中使用難度較高之▽字形調頭轉彎法，頭地寬度之大小宜大於或等於迴轉半徑之三倍，與作業機寬度之半（若曳引機之寬度之半較大時，以曳引機之寬度之半為準）之和。

(六)耕犁策劃條件為影響耕犁效率之最重要因素，為從事耕犁規劃作業之重心。

(七)由於曳引機械之行進方式仍以人之操作為主，因此，對於所研製系統之實際應用尚屬遙遠，但從作為規劃用途的觀點來看，本系統自有提供作為評估各項作業條件之價值。

(八)本系統應進一步發展考慮作業範圍出現障礙物時之迴避問題，並承續本系統之基礎，在各項可定義之限制條件與效率要求下，提供最佳化之路徑規劃，而成為田間作業路徑規劃之專家系統。

致 謝

本研究承蒙台大農機系王康男教授提供寶貴意見，謹申謝忱。

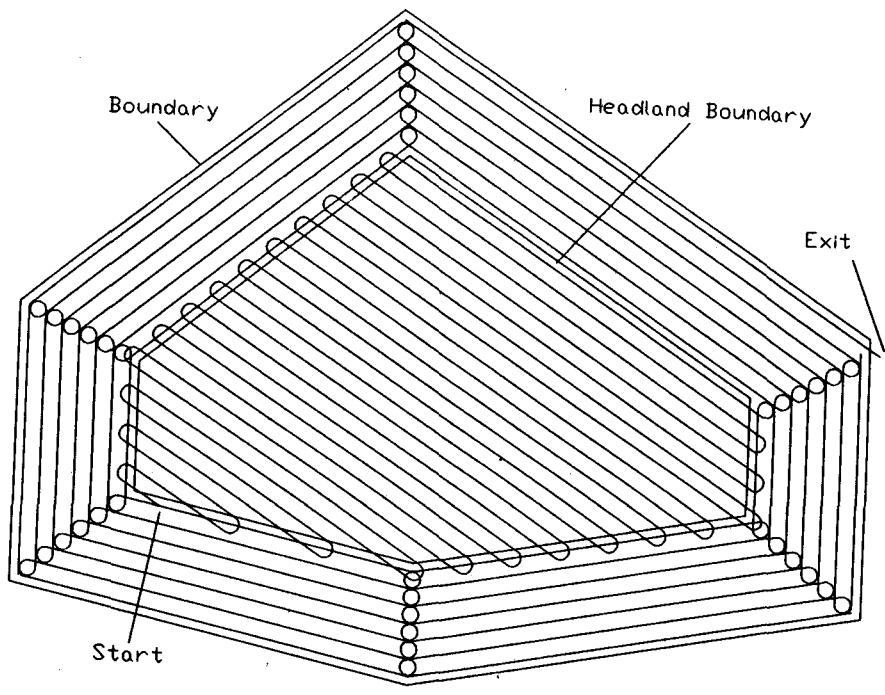


圖11 凸六多邊形農場之作業路徑(例1)

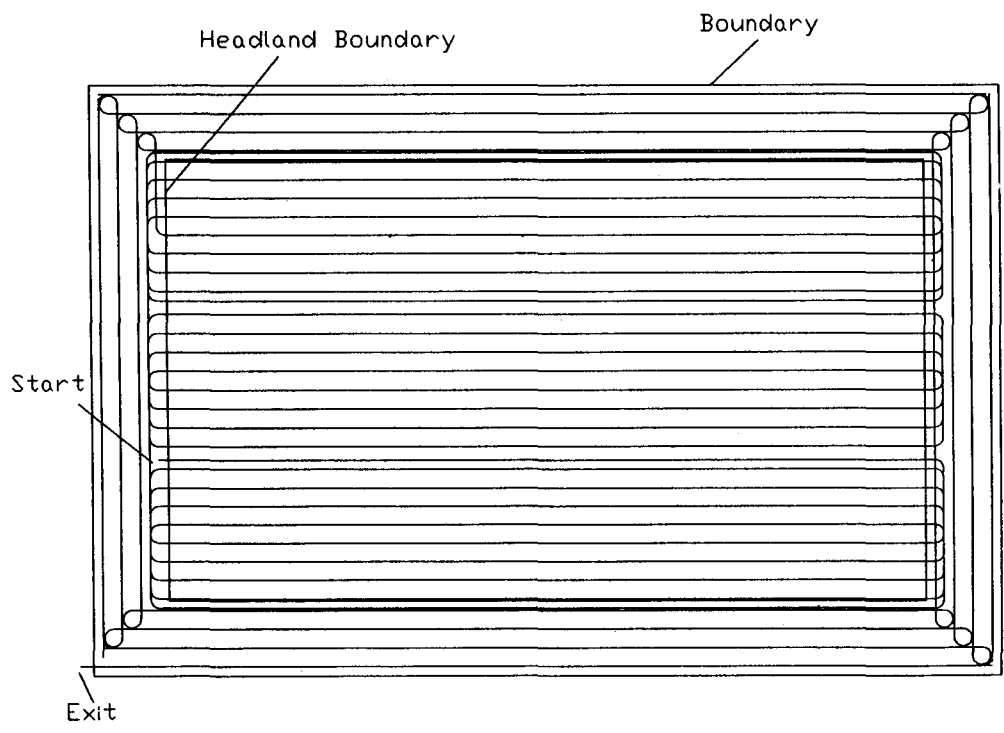


圖12 矩形農場之作業路徑(例6)

參考文獻

- 1.農機具性能測定報告：1992：台灣省政府農林廳，臺中。
- 2.Wildinson, R. H. and O. A. Braunbeck. 1977. Elements of agricultural machinery. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 3.川廷謹造：1966：農業機械化技術，初版，P.214

-274，東京：養賢堂。

- 4.庄司英信：1973：改著農業機械學概論，再版，P. 129-160，東京：養賢堂。
- 5.園村光雄，增田正三，守島正太郎，田原虎次，石原昂，松田良一，小野哲也：1975：新版農業機械學，再版，P.96-125，東京：朝倉書店。

收稿日期：民國82年5月24日

修正日期：民國82年6月8日

接受日期：民國82年7月27日

專營土木、水利、建築等工程

吉崧營造有限公司

負責人：江吉崧

地址：彰化縣永靖鄉永寧路10號

電話：(04)8235776-7

專營土木、水利、建築等工程

築展營造有限公司

地址：台東市仁五街42號

電話：(089)226379