

循跡式載具定位、變速及轉向角控制器之設計製作

周立強 程安邦 鄭世灝

國立宜蘭大學生物機電工程系

26047 宜蘭縣宜蘭市神農路一段一號

摘要

本文重點是以感測器測距方法整合布林代數演算法實作一控制器去實現循跡式載具其定位調整上之控制技術。載具之感測裝置係以光電開關感測循跡線，並分別運用超音波與光編碼器測距技術於載具行進時，迴授距離或位置及轉向角之設定狀態，以達到準確定位。載具之控制核心係採用可程式控制器（programmable logical controller, PLC），並以布林代數演算法演譯 PLC 之程式邏輯及複合傳統繼電器迴路之線路邏輯作為主要核心電路。經測試結果顯示此方式之實現是可行，本文之技術方法可應用提供實現設計其他型式循跡自走載具感測及定位調整控制上的一個發展範例。

關鍵詞：循跡式載具，超音波測距

Design and Implementation of a Positioning/Speed/Angling Controller for Use in a Line-Following Vehicle

LI-JOHN JOU, AN-PAN CHERNG and SHIH-HAO CHENG

Department of Biomechatronic Engineering, National IILan University

No.1 Sec. 1, Shen-Lung Rd, Yilan City 26047, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

This paper presents the integration of a technique for sensing distance with sensors and a Boolean algebra algorithm to implement a controller for use in positioning-speed-angling control of a line-tracing vehicle. A vehicle was outfitted with four photosensors to detect black lines marked on the ground, to create digital input signals to a controller. An ultrasonic sensor added to the vehicle determined the distance between the vehicle and an object to provide input to the controller for speed and vehicle positioning. Two photo-encoders positioned by the rear wheels determined the distance the vehicle traveled to provide feedback for controlling the speed and angle of the vehicle. A programmable logical controller (PLC) was used as the control core for the line-tracing vehicle. A relay-based wiring logical circuit and a PLC-based programming logical circuit were deduced using a Boolean algebra algorithm and integrated as the primary core circuits. The performance results indicate that the technology works. The example can also serve as a case study to show how to design and implement a direction-speed-position controller for use in positioning/speed/angling control of other automated guideline vehicles.

Key Words: line-following vehicle, sensing distance with an ultrasonic sensor

一、緒論

本系有關於循跡式載具的專題製作已有多年經驗，感測器皆以光電開關為主，皆為離散狀態的感測。經過此次在技術資料上的蒐集整理，可分為四個階段。第一階段是利用經驗法則與流程圖來設計邏輯控制電路，採用的控制器是單晶片 8051。此方式對輸入於控制器的感測狀態總數，是隨著感測器的數目 n 成 2^n 的關係，常常因為感測的狀態繁多而導致邏輯控制電路上會有瑕疵錯誤 (bug) 的存在。

第二階段是以布林代數演算法推演載具方向的邏輯控制電路，其優點是布林代數演算法對於邏輯控制路徑的決定，是一種嚴謹的運算法則，可解決上述電路中所產生的瑕疵錯誤情形 [2]。該階段是以方向控制為主，採單一速度行進，並未考慮轉彎軌跡時，變速的問題。如果車速較快的話，會因慣性及感測器反應時間的延遲，而使車體衝出軌跡之外。在第二段控制策略上，加入馬達轉速控制，可推演至第三階段的技術，就能改善上述車體衝出軌跡外的缺點 [6]。

第三階段是採用 PLC 作為載具的方向與速度控制器，以布林代數演算法去推演 PLC 的階梯電路程式，可解決條件序控中所存在的複雜邏輯問題 [6]。過程中以 EXCEL 電子試算表檢驗其正確性，並配合外部線路的實作來達成載具的方向與速度控制。在方向控制上加入速度控制的策略，可以達到直線加速及轉彎減速的功能。因受到硬體及外部迴路的限制，所產生的變速功能只有四段，但已可節省行走時間及增加轉彎時的圓滑度，避免車體衝出軌跡之外。

第四階段是採用 PLC 內部計時電驛的功能撰寫差動變速程式控制後輪速差 [7]，差動變速方式被證實相較於以往的控制策略上可以獲得較好及多變的方向及速度控制。差動變速的時間比例調控係隨著地面環境及車體之運動狀態不同而作改變，並配合接點邏輯電路之方式控制調整兩輪速差達到車體方向修正及變速功能。

過去在載具轉向與定位控制上，為了節省成本通常都選用以 PLC 內部之虛擬電驛如計數器 (counter)、計時器 (timer)，結合脈寬調變 (pulse width modulation, PWM) 進行馬達及致動器的電路控制，常必須掌握其感測器與控制系統之關係，例如將裝置於車體上的感測器偵測預先位置於固定位置標記，然後藉由對控制系統的馬達加以回饋補償，以校正其左右輪的位置及驅動輪之轉動角度 [9]。也有利用

角度量測法來做無人搬運車系統的導引控制，其系統裝置採用低功率雷射、旋轉鏡等光學元件，用以量測數個同性質的反射標記角度，並不斷地對控制系統做信號回饋及角度更新工作 [10]。一般也有利用市售遙控開關之超音波感測器，以一個發射器及兩個接收器為一組，裝置於車體左右兩側，用以偵測車身與作物 (或障礙物) 的距離，一旦超過容許範圍則以複合脈寬調變 [3-5] 控制左右輪差速進行路徑修正 [7]。

因此本文是在定向循跡下提升定位與轉向之準確度，發展以超音波測距作分段變速定位及光編碼器之定距作分段轉向及變速控制。主要因為超音波感測器不受外部光線及物體表面之特性影響回授訊號，並且容易調整感測距離，控制系統也較過去簡單，而光編碼器則擁有高精密度且為線性系統，於功能上可在不同環境地面下使用而不受摩擦力因素影響，亦能夠及時迴授系統作多段訊號輸出。故能以光電開關配合控制系統，使載具於行進及定位上更加準確與穩定。

二、實驗設備與方法

(一) 載具本體與硬體電路規劃製作

本文之載具選用「擠鋁」組合而成，由直徑 6 mm 的鋼棒作為車軸，輪胎則以直徑約 154 mm 之框架搭配工程塑膠固定，表面用腳踏車皮包覆以增加輪胎與地面之摩擦力。動力馬達之固定係採用角撐架安裝於擠鋁上，使其方便與底盤進行組裝，動作時能夠穩定而不搖晃。車軸與傳動軸則利用軸承座與聯軸器作為傳動聯結。

載具之行走部為三輪，其中前輪為全向輪，左右兩後輪分別以 12V 直流馬達傳動。藉由差動變速控制後輪正反轉來達到前進和轉彎的功能。馬達變速部分係利用 2 顆 6V 直流電瓶，1 顆 2P 繼電器 (R_4)，並以迴路設計方式來達成電力控制，分別是 12 及 6V 變速。載具所使用的元件共有 6 只光電開關感測器、1 只超音波感測器、1 個啟動按鈕、1 顆光編碼器、1 台可程式控制器 (Mitsubishi FX1s-30MR)、5 顆繼電器、2 只 12V 直流馬達、2 顆 12V 及 2 顆 6V 直流電瓶，如圖 1 所示。

其對應 PLC 之內部輸入、輸出電驛如下所述：依照 PLC 內部高速計數器之配置，1 顆光編碼器依序為輸入點 X_0 、6 只光電開關 (X_1 ~ X_6) 分別對應輸入電驛 X_1 ~ X_6 ；啟動按鈕

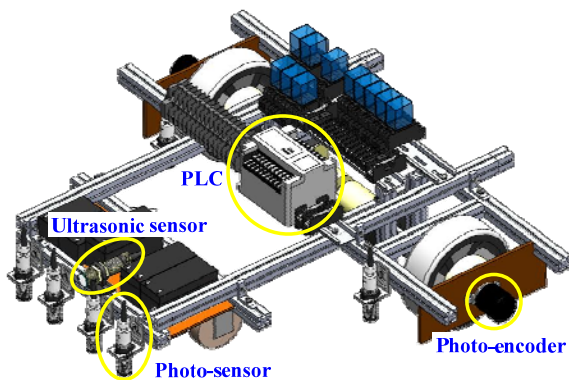


圖 1. 各感測及控制器於載具本體之配置

(X_7) 對應 X_7 ；5 顆繼電器為 2P 繼電器 ($R_0 \sim R_4$)，分別對應外部輸出電驛 $Y_0 \sim Y_4$ ，如圖 2 所示。

在線路控制方面，可採用 PLC 之程式邏輯與傳統繼電器迴路的線路邏輯混合型式，以減少繼電器數目及線路數 [1]，每顆馬達配合兩顆 2P 繼電器 ($R_0 \sim R_4$) 來控制正反轉。在馬達正反轉電路中，於可程式控制器內部的階梯電路，做到馬達正反轉互鎖的功能。但由於外部輸出的繼電器有延遲作用，因此有可能導致電路有瞬間短路的情形發生，因此在馬達正反轉電路中，在不增加繼電器數目及線路數，可加上第二道外部電路的互鎖 [2]。

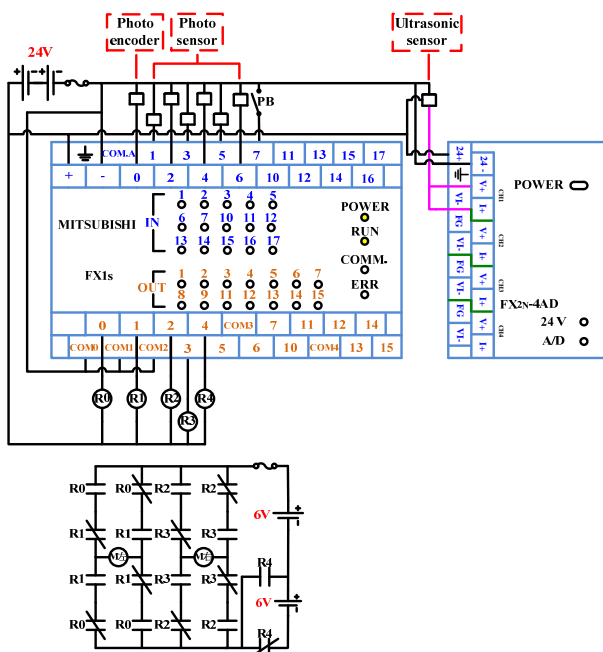


圖 2. 外部線路控制系統圖

(二) 主要技術之應用

1. 布林代數演算循跡邏輯函數式

延續前一階段之循跡式載具，在其前方設有 4 只光電開關 (Fotek : CDR-30X-V-M12) 來感測路徑變化，而每一個光電開關皆有 ON 或 OFF 的狀態，因此光電開關的狀態輸入點對可程式控制器只有 4 點輸入並形成 $2^4=16$ 種有限狀態路徑變化。當感測到電工膠布所貼出來之路徑時，輸入接點閉合，定邏輯值為 1，反之沒有感測到時，定邏輯值為 0。

載具方向修正的策略條件，分別為前進、左右旋轉及左右轉彎，根據底盤左右馬達之正轉、反轉及停止的三種輸出狀態，以 Y_0 及 Y_2 分別表示左及右馬達正轉輸出變數，以 Y_1 、 Y_3 表示轉向馬達反轉輸出變數，根據上述輸出情形，可定義出相對應的車體方向策略的輸出真值表 (表 1)。依據所制定之邏輯真值表，顯示出其輸入變數與輸出變數之間存在一邏輯函數關係，此關係可視為一個邏輯系統，而這邏輯系統可使用布林代數演算法去推演，本文依據 Quine & McCluskey 氏所提出的列表法要義寫成 Matlab 程式 [2]，求出載具的方向與速度控制的布林函數式 (1) - (4)：

$$Y_0 = X_1 + X_2 + \overline{X_3} \cdot \overline{X_4}, \quad (1)$$

$$Y_1 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot X_4, \quad (2)$$

$$Y_2 = X_3 + X_4 + \overline{X_1} \cdot \overline{X_2}, \quad (3)$$

$$Y_3 = X_1 \cdot \overline{X_3} \cdot \overline{X_4}. \quad (4)$$

接著在 Excel 電子試算表中建立輸入變數與輸出變數的邏輯真值表，將此布林函數式轉換成邏輯方程式，再將檢驗完成的布林代數函數式，利用邏輯演算中 OR (或) 與 AND (且) 的接點並聯與串聯之關係轉換成 PLC 的接點邏輯電路。最後建構 PLC 區塊化階梯電路程式，此即完成主要載具方向及速度控制之主要核心接點電路，也是載具可程式控制器的整體程式主要核心，可用來判斷整個載具本體行進策略。

在循跡程式之設計中，最主要是以布林代數演算法演譯方向控制邏輯並輸出以控制左右輪馬達正反轉，結合閃爍接點邏輯電路 (switching logical circuit with function of flicker) 運用類似 PWM 方式及繼電器切換 12V 與 6V 作有段及無段變速。PWM 是利用閃爍電路所造成高低電位的時脈長短來

表 1. 載具循跡方向修正策略之對應邏輯真值表

序號 (1)	輸入變數(2)				策略(3)	輸出變數(4)			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄		Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃
0	0	0	0	0	直走	1	0	1	0
1	0	0	0	1	左旋轉	0	1	1	0
2	0	0	1	0	左轉	0	0	1	0
3	0	0	1	1	左旋轉	0	1	1	0
4	0	1	0	0	右轉	1	0	0	0
5	0	1	0	1	直走	1	0	1	0
6	0	1	1	0	直走	1	0	1	0
7	0	1	1	1	直走	1	0	1	0
8	1	0	0	0	右旋轉	1	0	0	1
9	1	0	0	1	直走	1	0	1	0
10	1	0	1	0	直走	1	0	1	0
11	1	0	1	1	直走	1	0	1	0
12	1	1	0	0	右旋轉	1	0	0	1
13	1	1	0	1	直走	1	0	1	0
14	1	1	1	0	直走	1	0	1	0
15	1	1	1	1	直走	1	0	1	0

控制車速，固定脈波週期，然後改變其波寬比（脈波寬與週期之比），當其波寬比變化時，供給馬達的平均電流發生變化，於是轉速即產生改變。

若閃爍電路以邏輯式表示，如（5）-（7）式所示：

$$(T_\alpha) = M_u \cdot \overline{T_\beta} \cdot R \tag{5}$$

$$(T_\beta) = T_\alpha R \tag{6}$$

$$(M_v) = M_u \cdot \overline{T_\alpha} \cdot R \tag{7}$$

式中 M_u 為一訊號接點輸入變數， (T_α) 及 (T_β) 分別為計時器功能邏輯變數， $T_\alpha R$ 及 $T_\beta R$ 則分別為前述相對應延時電驛 (T_α) 及 (T_β) 的延時接點邏輯變數，而 (M_v) 即為 PWM 輸出電驛之邏輯變數。

2. 超音波測距分段變速及定位設定

根據本文所選定超音波感測器（Keyence：FW-H07 及 FW-V20）之規格 [8]，其可輸出的類比電流訊號，其中介於 150~700 mm 的檢測範圍，可以回傳類比電流訊號與距離之線性關係，若物體小於 150 或者大於 700 mm，超音波只會回傳 20 mA 的電流值。所以我們可以將類比電流與被感測物的距離表示成一線性函數關係式：

$$I_{out}(l) = \begin{cases} 20 & l < 150 \text{ or } l > 700 \\ 4 + 0.029(l - 150) & 150 < l < 700 \end{cases} \tag{8}$$

式中 I_{out} 為超音波感測測距之輸出電流（mA）， l 為被感測物之距離（mm）。接著藉由 A/D 模組功能中之類比電流訊號轉換成數位碼 D 之關係式， $D(I_{out})=50 \times I_{out}$ ，將上述方程式（8）轉換成數位碼 D 與感測距離 x 之關係式：

$$D(l) = \begin{cases} 20 & l < 150, l > 700 \\ \frac{8}{7} \cdot l + 400 & 150 \leq l \leq 700 \end{cases} \tag{9}$$

將方程式（9）寫入 PLC 內部暫存器及比較器位址，以階梯電路邏輯演譯分段變速及定位功能於外部邏輯輸出變數，當感測訊號與比較器閾值進行比較後，即迴授至控制器內，根據邏輯電路輸出訊號於致動器，複合脈寬調變（PWM）方式間接控制直流馬達之電力大小，達到精密地分段變速及定位。

超音波測距分段變速及定位設定是指當載具在定向循跡下以速度 $v(t)$ 前進時，裝設在載具前方之超音波感測器能夠依照使用者設定的多段感測距離 $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$ 複合脈寬調變（PWM）方式進行不同比例分段變速控制，如（10）式所示，其功能示意如圖 3 所示。此目的是為了降低車體在急停時所產生之慣性，配合 PWM 可微調修正載具定位準確度，使載具能平順穩定地停止於目標物正前方。

$$e(t) = l(t) - l_0 \quad u(t) = \begin{cases} 1 & e(t) > l_n \\ 0.9, & l_{n-1} < e(t) \leq l_n \\ \dots & \dots \\ 0 & e(t) \leq l_1 \end{cases} \tag{10}$$

式中 $e(t)$ 為誤差訊號， $l(t)$ 為載具行進中迴授之測距值， v_{max} 為載具行進之全速， $u(t)$ 為控制輸出操作比例， $v(t)$ 為載具設定之變速。

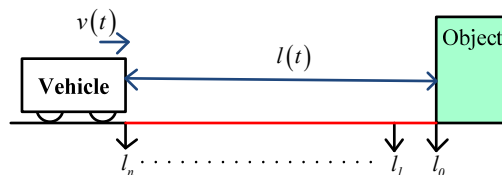


圖 3. 分段距離下建立變速設定之示意

3. 光編碼器定距分段變速及轉向轉角設定

光編碼器 (HONTKO, HTR-HB-10-600-3-D602) 技術是將訊號迴授至 PLC，利用內部之高速計數器進行訊號比較後，藉由旗號控制邏輯電路並且依照載具循跡行進時之狀態模式，訂定比較器之閾值，以完成某一定距下分段變速及轉向轉角之設定。

(1) 定距分段變速之閾值函數

定距之計算係由輪胎周長 πd (d 為輪胎直徑 cm)，乘以輪軸上光編碼器所轉之圈數即是。而光編碼器所轉之圈數等於其所轉之脈波數 x 除以其解析度 n (pulse number / round)，故定距下之函數式如 (11) 式所示：

$$l(x) = \pi d \frac{x}{n}, x = \frac{nl}{\pi d} \quad (11)$$

上式 l 為設定之距離 (cm)，根據 (9) 式即可決定各段固定距離下之預設狀態，以光編碼器之脈波數 x 作為比較器之閾值，以設定載具進行變速。

(2) 定距轉向轉角設定

藉由輪胎行走之路徑長與車體旋轉之弧長有一特定關係，以數學函數建立一方程式，透過內部比較器之閾值設定，輸出於致動器進行定距轉向轉角控制。載具轉向則是利用載具左右側馬達之正反轉原理，使載具進行順及逆時針方向迴轉，即是以輪軸之形心位置為圓心之迴轉，如圖 4 所示。以載具欲旋轉之轉角 θ 乘上其旋轉半徑 r ，則可計算出旋轉弧長 $\lambda(\theta) = r\theta$ 。當載具左右任一輪之輪距等於其旋轉弧長 (即為 (12) 式) 時，我們可得一載具欲旋轉之轉角 θ 下，其相對應之光編碼器脈波數 x 之關係式，

$$x = \frac{r\theta}{\pi d} n \quad (12)$$

此可作為設定載具轉向角度 θ 之比較器閾值。當此光編碼器所迴授之訊號接至 PLC 之內部高速計數器與所設定之轉向角 θ 進行比較後，再由旗號輸出訊號於致動器，為了降低載具本體在急停時所產生之慣性轉動誤差，本文以分段轉角 PWM 方式比例減低載具本體旋轉速率，如 (13) 式所示，圖 4 為其功能示意，使載具能平穩地轉向至目標轉角 θ_0 。

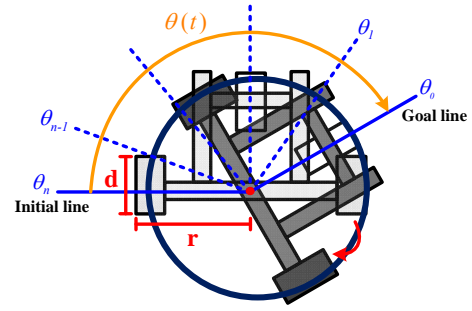


圖 4. 載具輪徑、迴轉半徑及分段轉向角之關係

$$e(t) = \theta_0 - \theta(t) \quad u(t) = \begin{cases} 1 & , \theta_{n-1} < e(t) \leq \theta_n \\ 0.9 & , \theta_{n-2} < e(t) \leq \theta_{n-1} \\ \dots & , \dots \\ 0.1 & , 0 < e(t) \leq \theta_1 \\ 0 & , 0 = e(t) \end{cases} \quad (13)$$

式中 $e(t)$ 為誤差訊號， $\theta(t)$ 為載具迴轉中迴授轉角值， $\theta_n, \theta_{n-1}, \dots, \theta_1, \theta_0$ 為設定之分段轉向角， ω_{max} 為載具迴轉之全速， $u(t)$ 為控制輸出操作比例， $\omega(t)$ 為載具設定之迴轉速率。

(三) 功能測試

為了測試本文之方法技術是否可使載具在定位、定距行進及轉向上能夠更加準確，我們將等同於載具上視正投影面積之 PP 板，置於載具上，在板上以方型與圓形標示載具本體之特徵點，如圖 5 所示，並以相機連續攝影載具本體行進之過程，最後以 LabVIEW 影像軟體進行分析。

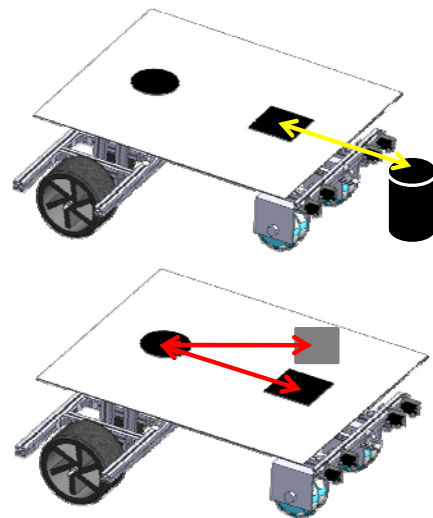
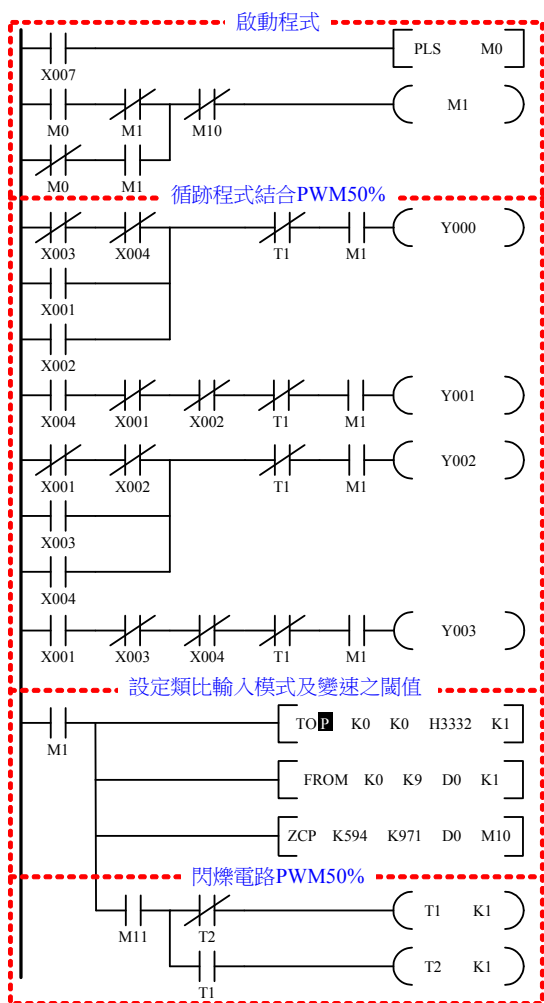


圖 5. 載具定位 (左) 及轉向 (右) 分析示意圖

三、結果與討論

(一) 超音波測距分段變速之定位

本文以紙箱、水泥磚、圓柱桶作為標的物，測試以超音波測距方式作分段變速定位之功能，在定向直線循跡下，載具設定在距離標的物前方 50 cm 處即採 50% PWM 變速，在標的物前方 17 cm 處停止定位，此部份 PLC 階梯電路程式如圖 6，載具之定位距離量測係由 LabVIEW 影像軟體獲得，其結果及誤差值如表 2 所示。



距離 (cm)	數位碼
17	594
50	971

感測位移 (cm)	輸出電驛	動作
D0 > 50	無	以24V動力循跡前進
17 < D0 < 50	M11	開啟50%PWM
V0961 < 17	M10	停止載具動作

圖 6. 超音波測距結合定向循跡方式實現分段調速定位之 PLC 階梯電路程式

表 2. 超音波測距定位測試

Objects	Carton	Brick	Cylinder
Measuring distance (cm)	17.1±0.8 ^a	17.2±2.4	17.1±0.7
Error (%)	0.7	1.3	0.7

^aMean±sd (n=5)

過去循跡式載具在定位控制上，是利用光電開關感測物體或煞車電路進行減速，但是此類方法會受到目標物表面粗糙度、顏色以及地面摩擦力等因素影響定位準確度。若改以接觸式極限開關作為目標定位感測，則可能因碰觸方式造成目標物表面或載具毀損之情形。本文中循跡式無人載具在定向循跡下，採用超音波測距進行分段變速設定進行定位控制，確實改善上述發生之問題。本文確信藉由調整 PWM 方式變速，以擬合載具運動慣性與實地現場地面之相對狀況，可以達到一定程度的準確定位。

(二) 光編碼器定距分段變速設定

圖 7 為包含直線 0.8 m、圓弧線 1.57 m 及直線 1 m 的循跡線，使載具在定向循跡下，本文藉由光編碼器定距式 (11) 設定起點於直線段 0.8 m 前為 12V 電壓輸出，0.8m 後進入彎道部份降為 6V 電壓輸出，直至行走距離累積至 2.37 m 進入直線循跡又切回 12V 電壓輸出，累積行走距離達 3.37 m 即停車，此對應 PLC 階梯電路程式如圖 8，載具之定位距離量測係由 LabVIEW 影像軟體獲得，其結果及誤差值如表 3 所示。

本文以光編碼器作某一定距下分段變速設定的方式仍以光電開關循跡方式為主，輔助利用載具左右輪之光編碼器感測迴授載具所行走之距離，藉由其分段路徑長之關係輸出相對應之變速指令，確實改善過去以光電開關循跡方式並利用 PLC 內部計數器的感測次數或計時電路來控制載具外部變速，往往會因速度過快而使載具偏離循跡路線之狀況。同理此定距分段變速設定方式亦可運用調整 PWM 方式實現，擬合載具運動慣性與實地現場地面之相對狀況。

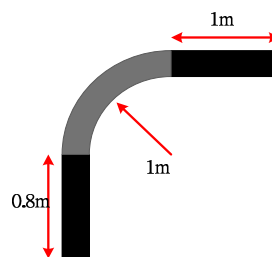
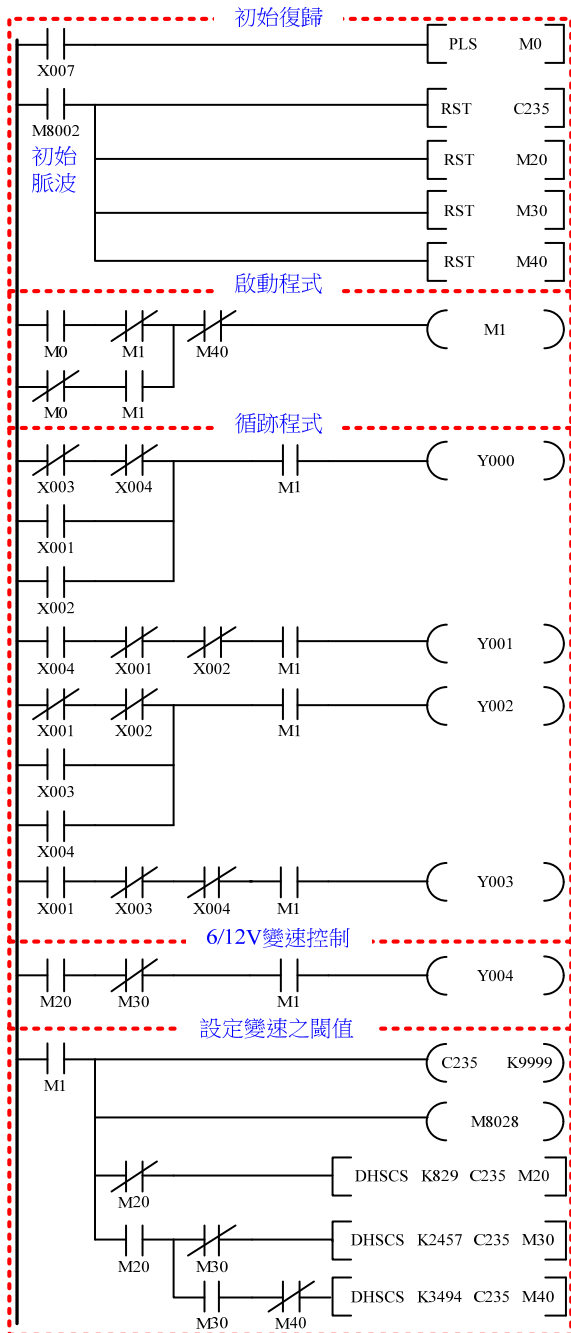


圖 7. 光編碼器作定距分段變速場地



距離 (cm)	數位碼
80	829
237	2457
337	3494

感測位移 (cm)	輸出電驛	動作
C235 < 80	無	以 12V 動力循跡前進
80 < C235 < 237	M20	開啟 6V 變速
237 < C235 < 337	M30	以 12V 動力循跡前進
C235 > 337	M40	停止載具動作

圖 8. 光編碼器測距結合定向循跡實現定距分段變速之 PLC 階梯電路程式

表 3. 定距分段變速定位測試

Driving voltage (V)	12 (Straight)	6 (Arc path)	12 (Straight)
Setting distance (cm)	79.96	157.02	100.02
Measuring distance (cm)	79.2±1.7 ^a	154.2±1.4	99.7±1.6
Error (%)	1.0	1.8	0.3
Moving time (s)	0.97±0.2	5.10±0.3	1.13±0.3
Speed (cm/s)	81.60±1.1	28.50±0.6	88.23±1.2

^a Mean±sd (n=5)

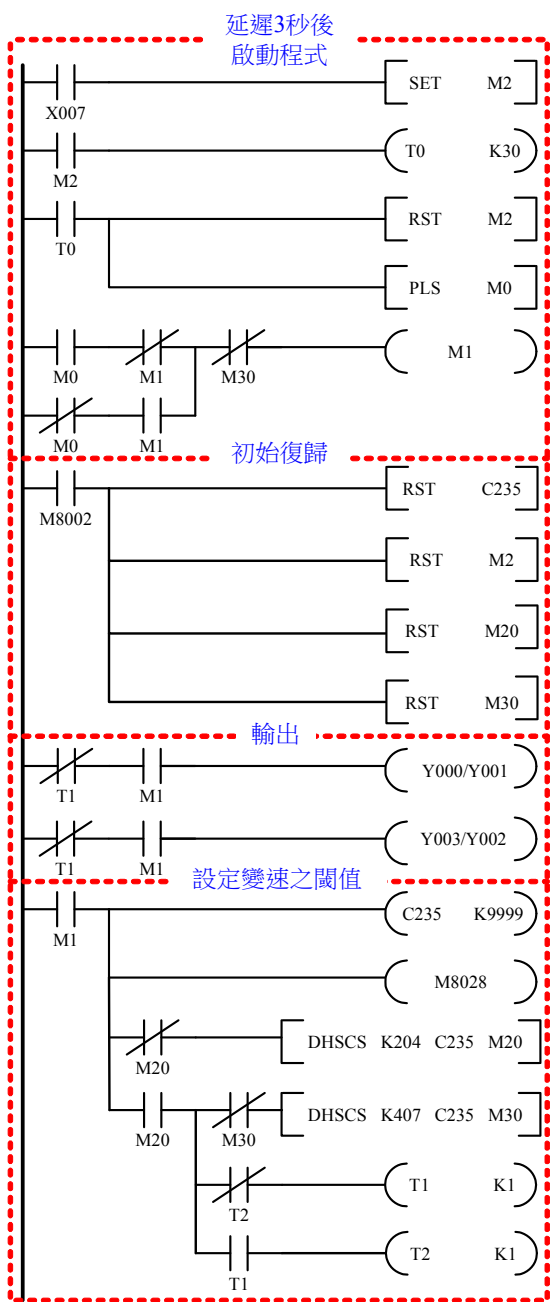
(三) 光編碼器定距轉向轉角設定

本文利用光編碼器轉向角 (12) 式，先計算 PLC 內部比較器之閾值 (以轉 90 度角為例)，其中光編碼器的解析度 $n=456$ 、輪徑 $d=14$ 、載具旋轉半徑 $r=25$ ，將此資料代入 (11) 式得 $x=407$ ，其設定值的取法是以四捨五入至整數位，所以必須再代回驗證真實之轉向角，故得 $\theta=89.975^\circ$ ，此即為測試之轉向角度。為使載具作順時針及逆時針各轉 89.975 度，本文並以分段轉角，設定 PWM 方式降低載具本體之旋轉速率，以降低載具本體旋轉慣性，其對應之 PLC 階梯電路程式如圖 9，載具順時針與逆時針轉向 90 度各五次的角度累積值量測係由 LabVIEW 影像軟體獲得，其結果及誤差值如表 4 所示。

過去載具轉向轉角若以計時電路上時間控制轉向轉角，往往因馬達電池電力不一，使得轉角誤差過大，我們確信光編碼器在定距轉向轉角設定迴授訊號及結合分段轉角設定 PWM 方式，可改善此一問題及更擬合載具運動慣性與實地現場地面之相對狀況。

(四) 實際技術應用

本文主要重點是以超音波及光編碼器測距技術結合以布林代數演算為基礎之可程式控制器實現循跡式載具之定距變速及轉向定位等應用，目前僅著重於階梯電路程式功能性測試，在控制功能上僅迴授超音波及光編碼器測距訊號分別作載具移動或轉動速度 PWM 方式調整，以及載具位移或轉向角位置迴授，以快速擬合載具運動慣性與實地現場地面之相對狀況，以縮小載具移動及轉動因運動慣性、摩擦力、電池電力消耗造成位移及轉向定位誤差。雖然結合多種感測器應用於自走車或機器人已行之有年，在本階段本文並未對載具的結構、運動機制及成效作深入分析，這也是未來下一階段期能以增加以電子陀螺儀及加速規迴授載具運動狀態



感測位移(度)	數位碼
45	204
90	407

感測位移(度)	輸出電驛	動作
C235<45	無	以12V動力轉向
45 < C235 < 90	M20	開啟50%PWM
C235>90	M30	停止載具動作

圖 9. 光編碼器測距實現順/逆時針轉向轉角定位之 PLC 階梯電路程式

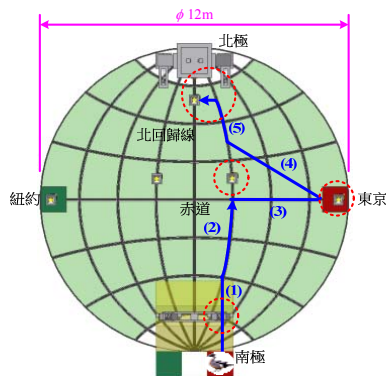
表 4. 定距轉向轉角定位測試

Setting angles (°)	+89.975	-89.975
Measuring angle (°)	88.529±0.350 ^a	89.825±1.103
Error (%)	1.6	0.2

^a Mean±sd (n=5)

訊號，將運動機制（速度、加速度、角速度及角加速度）納入控制器中，以實務技術觀點探討載具運動控制成效。總結來說，本階段不論是超音波或光編碼器測距，以循跡程式為主方式，以分段變速觀念結合 PWM 方法進行載具微速調整，實作上確實能提升其穩定性。同時，載具以光編碼器技術應用於轉向控制上，能夠使載具不受場地狀態及避免當電池電力不同時，造成馬達轉速不一，使得載具行進時偏離預定路徑。

以第十二屆全國大專院校創思設計製作自動組競賽主題『環遊世界 Go』為例，競賽場地之佈置以直徑 12 m 的圓形地球為背景，經緯線作為循跡線，搭配南極、東京、紐約、赤道、北回歸線與北極之旅等項目，以營造環遊世界情境。機器人必須先取得位於南極標示處 1 m 高正上方之目標物，接著放置目標物於東京、赤道、北回歸線及北極敲鑼等標示處，其完成順序不限（圖 10）。



路徑	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
定向循跡		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
光編碼器作定距分段變速定位	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
光編碼器作定距轉向轉角定位				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
超音波測距作分段變速定位		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

圖 10. 第十二屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽場地示意

根據競賽之任務要求，本系參賽隊伍制定路徑依循(1) - (5) (如圖 10 所示藍標線)：(1) 機器人於場地之指定平台上出發，使用光編碼器作定距分段變速定位，於南極標示處停止並取得目標物(2)、(3) 接著以定向循跡、超音波測距作分段變速之定位控制，使機器人緩慢停於赤道、東京標示處並放置目標物(4) 放置目標物後使用光編碼器作定距轉向，再以光編碼器作定距分段變速定位，截彎取直以減少行進路徑時間(5) 最後使用定向循跡、光編碼器作定距分段變速定位控制機器人到達指定位置後，以光編碼器作定距轉向，轉彎一定角度並放置北回歸線標示處之目標物，精準地以平均時間 31 秒完成所有指定功能。同樣地，此一方法技術亦應用於第十三屆全國大專院校創思設計製作競賽，其場地路徑方式(圖 11 所示黑標線)有相似之應用。

基本上載具運動路徑之 PLC 階梯電路可分成四個區塊：定向循跡、光編碼器作定距分段變速定位、光編碼器作定距轉向轉角定位及超音波測距作分段變速定位，如圖 12 所示，以上各區塊可依路徑任務要求，相互間整合後執行輸出，最後以 PLC 實現之，如附錄圖 A 應用例所示。

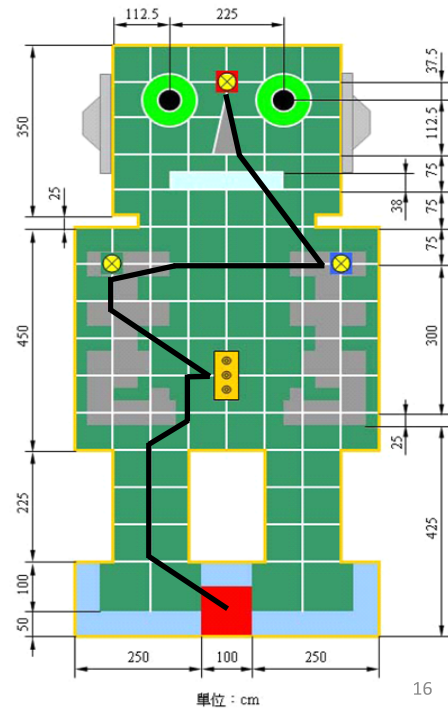


圖 11. 第十三屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽場地示意

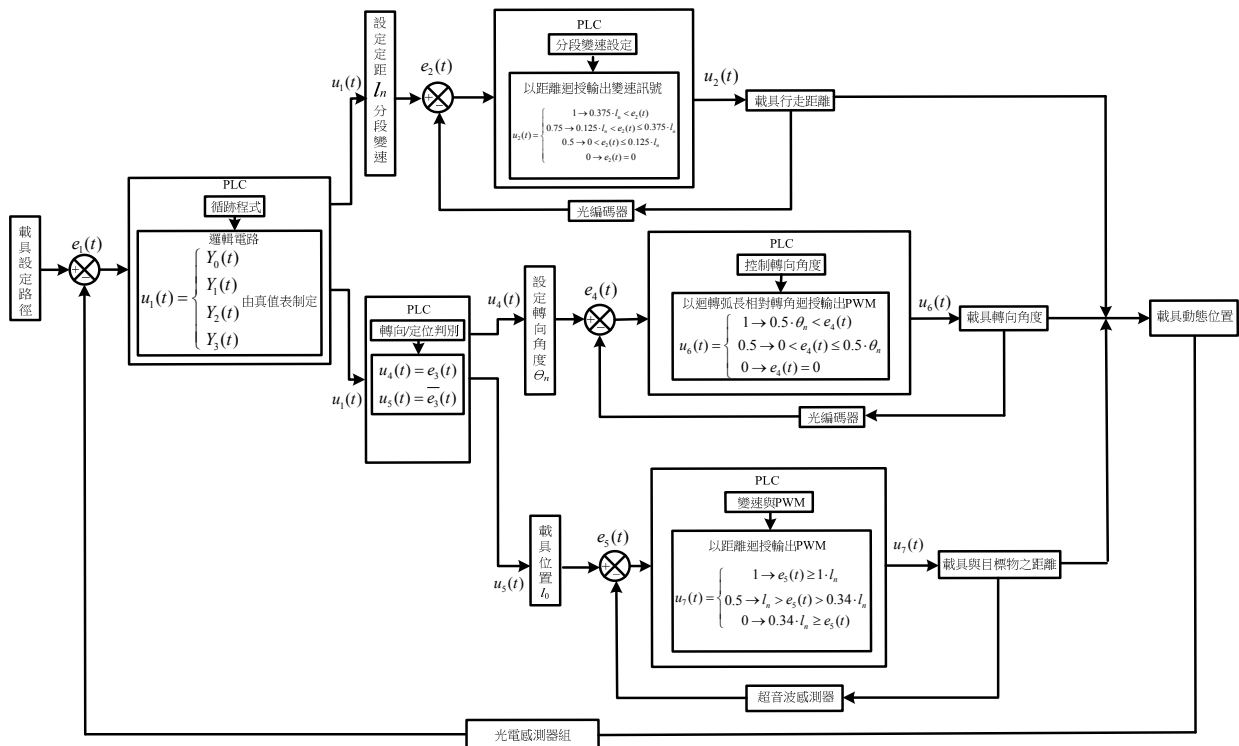


圖 12. 定向循跡(光電感測器)、定距分段變速(光編碼器)、定距轉向轉角(光編碼器)及超音波測距變速之定位控制區塊示意

對於動作功能要求多元之機電系統，本文運用群組電路觀念首先進行區塊或層次分隔，於每一區塊以布林代數式演繹代表該區塊執行或結束之判斷邏輯條件，而每一區塊之間係以歸屬感測訊號或具邏輯判斷之內在電驛接點作聯結，愈多區塊之系統，以 PLC 實現之，愈簡潔方便。

四、結論

本文延續過去循跡式載具其方向與速度控制器之製作技術，改善過去以光電開關感測循跡定位及計時電路轉向控制上，容易受到電池電力及地面摩擦力影響而造成定位上的誤差。我們運用群組電路的觀念，以布林代數演算法推演邏輯接點電路，編譯循跡階梯電路程式作為主要群組電路的核心，並以超音波測距定位結合 PWM、光編碼器技術（轉向、變速調整與定向行走），用以當作輔助階梯電路程式，如此一來除了解決自走載具定位、轉向與變速控制所需要的複雜邏輯控制電路，並且於系統錯誤時能夠方便修正。

經由實際功能測試之後，在定向循跡下，以超音波感測測距及光編碼器技術應用於循跡式無人載具之定位、定距轉向及變速控制技術是可行的，於測試過程中自走載具會依所規劃的路徑行進、轉向，並依照真值表進行方向與變速的改變。

參考文獻

1. 周立強、高易宏、吳建昌（民 90），線控機器人與自走子車製作在教學上之應用，宜蘭技術學報，6，85-102。
2. 周立強、程安邦（民 92），布林代數演算法在條件序
3. 陳偉森（民 85），農用自動導引車系統之研究，國立中興大學農業機械工程學研究所博士論文，台中。
4. 陳巧茵（民 92），小型自走車以超音波避障之研究，國立成功大學工程科學研究所碩士論文，台南。
5. 盛中德、陳昭亨（民 88），多重感測系統應用於自動導引車行走控制之研究，農業機械學刊，8(4)，34-50。
6. 康世緯、林聖傑、呂宗訓、周立強（民 94），循跡式自走車的方向與速度控制器之製作，2005 年農機與生機論文發表會，屏東。
7. 黃御其、楊雅傑、陳俊宏、楊俊雄、李永駿、張簡上揮、陳奕璇、陳詩欣、周立強（民 96），以 PLC 作為循跡式無人載具差動變速及方向控制器之應用例(II)，2007 年農機與生機論文發表會，台北。
8. 數位超音波感測器 FW-V20 系列操作手冊（民 97），台灣 KEYENCE 公司，台北。
9. Komatsu, N. and K. Nakano (1987) Dead reckoning guidance combined with guided path method for AGVs. Automated Guided Vehicle Systems. Proceedings of the 5th International Conference, Tokyo, Japan.
10. Wiklund, U., U. Anderson and K. Hyypa (1988) AGV navigation by angle measurements. Automated Guided Vehicle Systems. Proceedings of the 6th International Conference, Brussels, Belgium.

收件：101.03.05 修正：101.03.28 接受：101.04.24

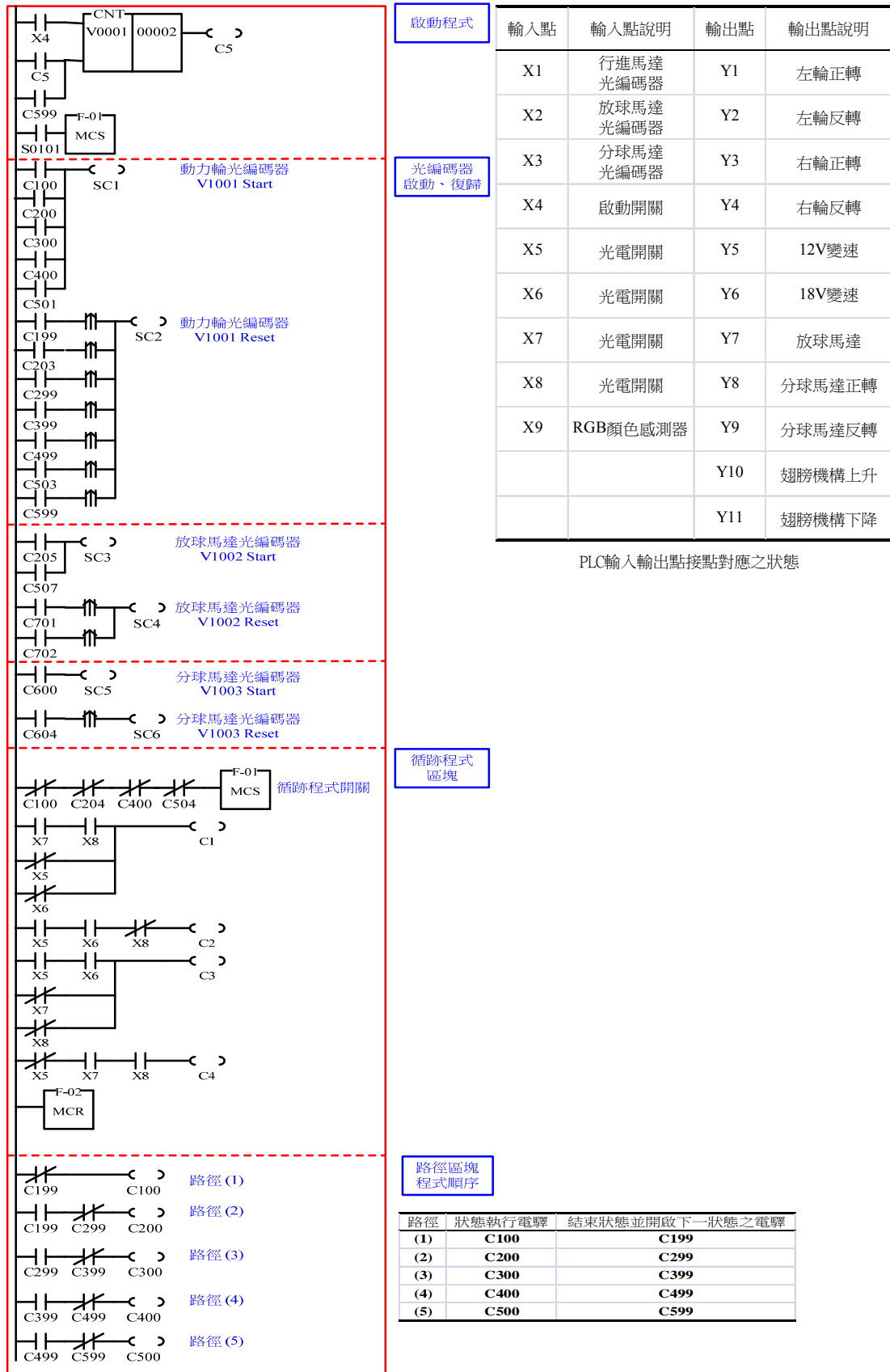


圖 A1. 應用例 (第十二屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽之 PLC 階梯電路程式)

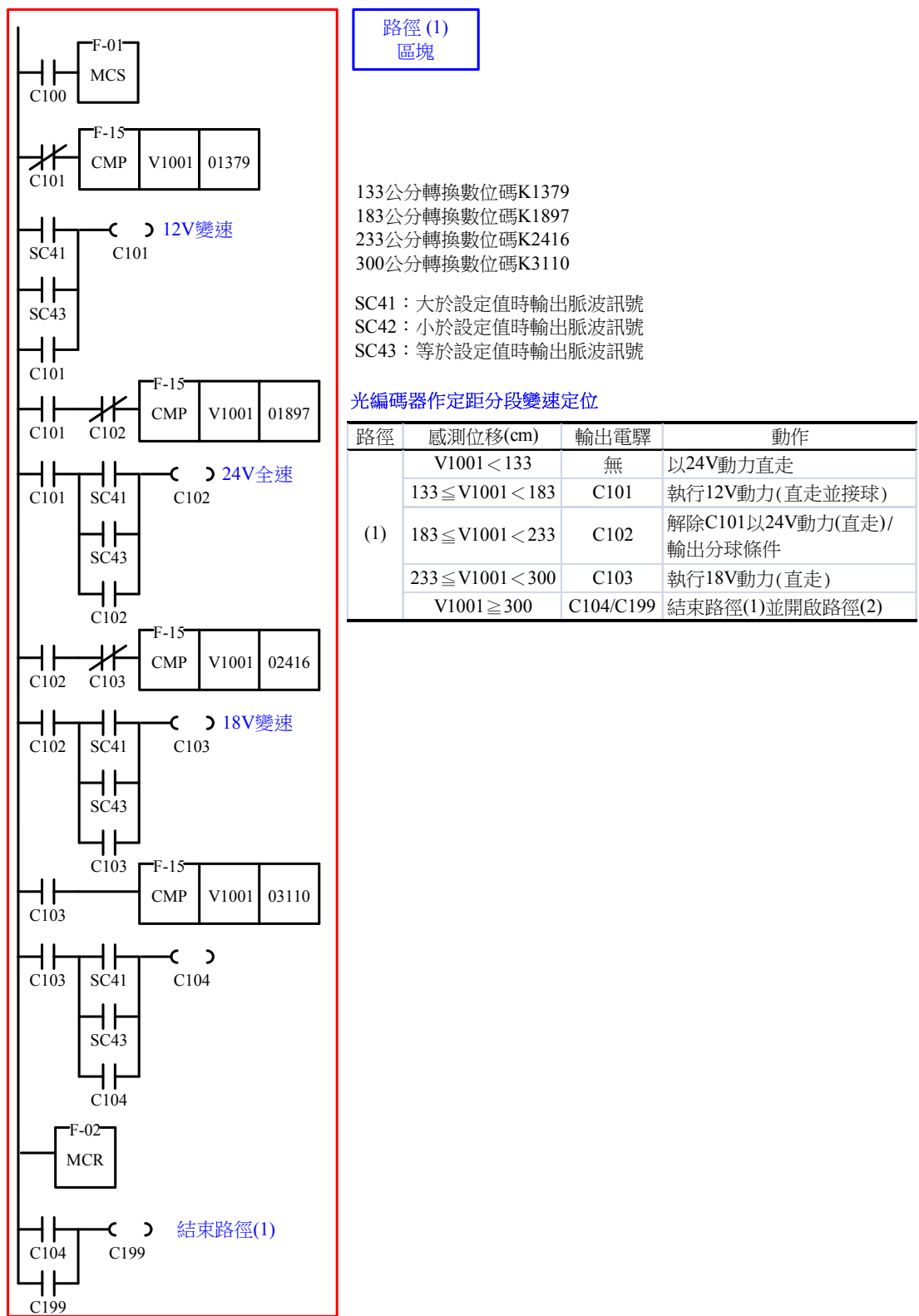


圖 A2. 應用例 (第十二屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽之 PLC 階梯電路程式)

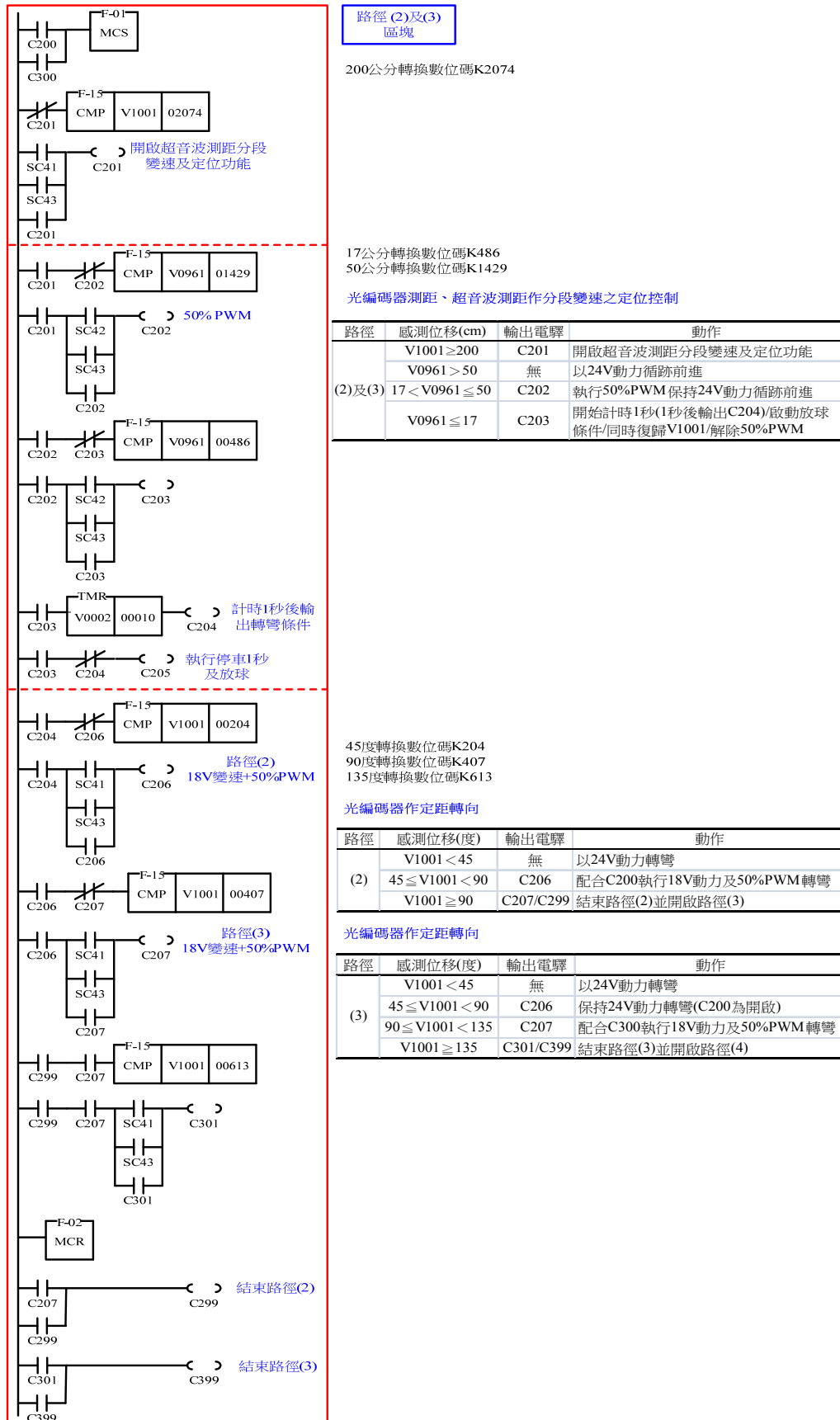
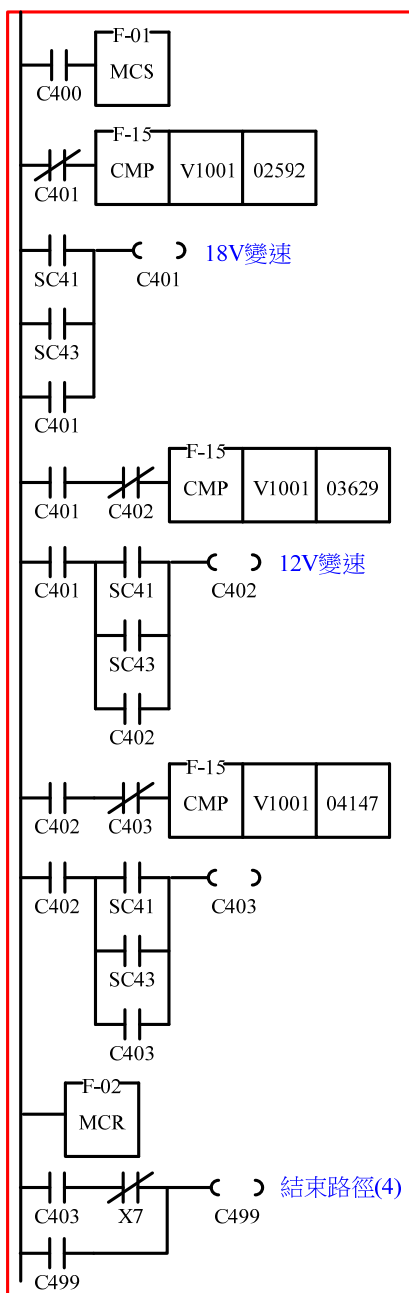


圖 A3. 應用例 (第十二屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽之 PLC 階梯電路程式)



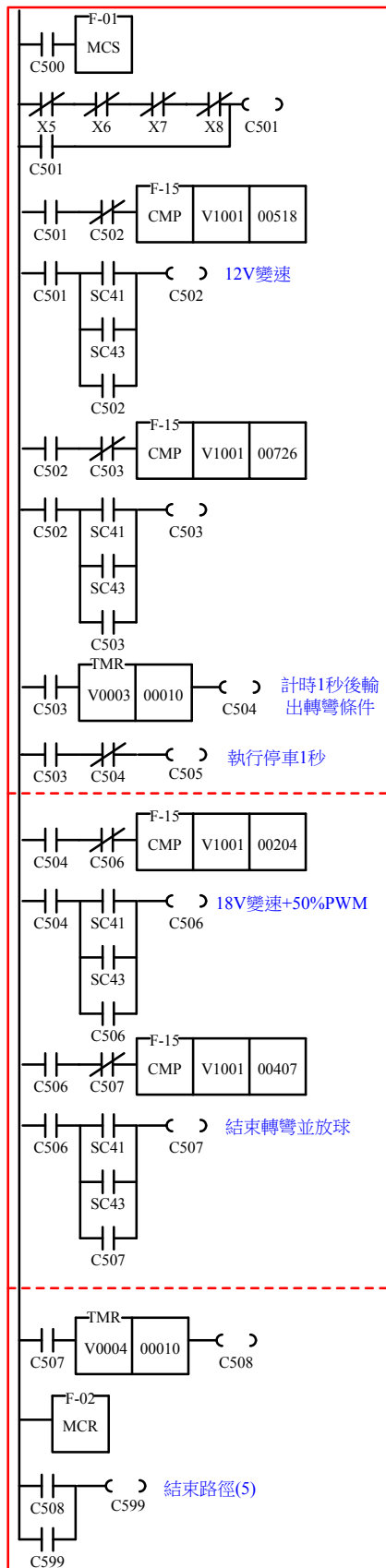
路徑 (4)
區塊

250公分轉換數位碼K2592
350公分轉換數位碼K3629
400公分轉換數位碼K4147

光編碼器作定距分段變速定位

路徑	感測位移(cm)	輸出電驛	動作
(4)	$V1001 < 250$	無	以24V動力(直走)
	$250 \leq V1001 < 350$	C401	執行18V動力(直走)
	$350 \leq V1001 < 400$	C402	解除C401執行12V動力(直走)
	$V1001 \geq 400$	C499	結束路徑(4)並開啟路徑(5)

圖 A4. 應用例 (第十二屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽之 PLC 階梯電路程式)



路徑 (5) 區塊

光編碼器解析度 $n=456$ 、輪徑 $d=14$
 50公分轉換數位碼K518，
 70公分轉換數位碼K726，

光編碼器作定距分段變速定位

路徑	感測位移(cm)	輸出電驛	動作
(5)	$V1001 < 50$	無	以24V動力循跡前進
	$50 \leq V1001 < 70$	C502	執行12V動力循跡前進
	$V1001 \geq 70$	C503	開始計時1秒(1秒後輸出C504)/解除12V(恢復24V)動力/復歸V1001/啟動C505(停車1秒)

光編碼器解析度 $n=456$ 、輪徑 $d=14$
 載具旋轉半徑 $r=25$
 45度轉換數位碼K204，
 90度轉換數位碼K407，

光編碼器作定距轉向

路徑	感測位移(度)	輸出電驛	動作
(5)	$V1001 < 45$	無	以24V動力轉彎
	$45 \leq V1001 < 90$	C506	執行18V動力及50%PWM轉彎
	$V1001 \geq 90$	C507	結束轉彎並放球

圖 A5. 應用例 (第十二屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽之 PLC 階梯電路程式)

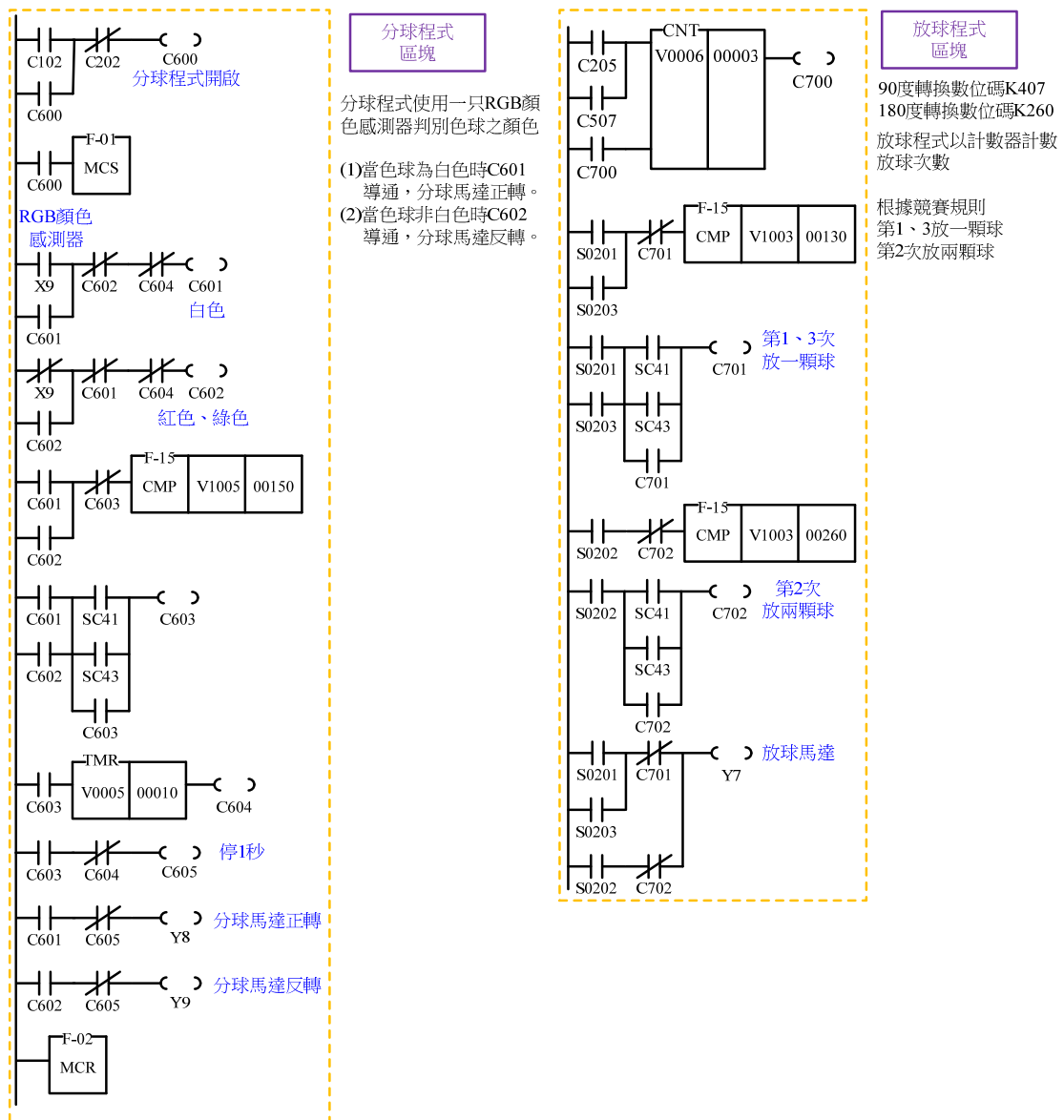


圖 A6. 應用例 (第十二屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽之 PLC 階梯電路程式)

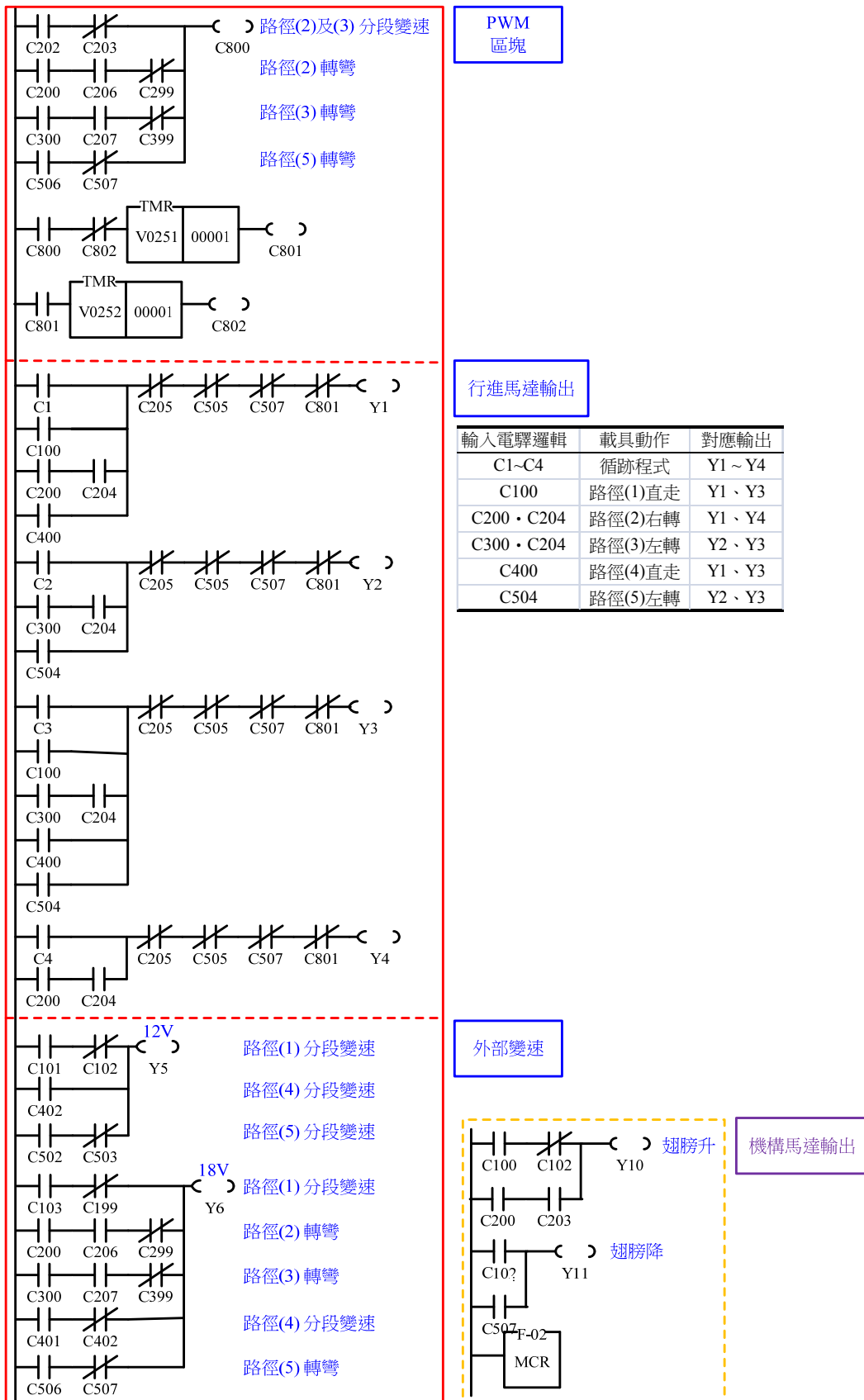


圖 A7. 應用例 (第十二屆全國大專院校創思設計與製作自動組競賽之 PLC 階梯電路程式)