

# 避障車方向控制器的製作

周立強<sup>1</sup> 游哲文<sup>2</sup>

1、國立宜蘭技術學院生物機電工程系講師

2、國立宜蘭技術學院生物機電工程系學生

## 摘要

本文目的主要是採以布林代數為基礎的演算法推演避障車方向控制的邏輯方程式，以配合可程式控制器轉換成階梯電路圖，並製作一模型車加以具體化此一構想。自走避障車(以下簡稱避障車)其製作主要是能閃避前行時所遭遇的障礙。其程式部分則以邏輯控制與時間序控方式來完成。最後分別以三種不同障礙型式的擺設作測試，該車均能順利閃避障礙達到所要求的動作功能，顯示此一方式的運用相當可行，可作為機電整合順序控制教學上的一個範例。

關鍵字：布林代數、避障車、可程式控制器。

# **Development of a Directional Controller for an Obstacle Avoidance Vehicle**

Li-John Jou<sup>1</sup>      Che Wen Yu<sup>2</sup>

1. Lecturer, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan Institute of Technology
2. College student, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan Institute of Technology

## **ABSTRACT**

The objective of this paper was to develop a directional control methodology using Boolean algebra algorithm for an obstacle avoidance vehicle. The vehicle was controlled by programmable logical controller, in order to pass smoothly through obstacles. The control strategy combined logical and time-sequence control methods. A logical circuit composed of switching functions was efficiently transformed to PLC program. The complete electrical-mechanical system was successfully tested in our campus with three kinds of obstacle patterns. Through experimental results, it demonstrated that the methodology was feasible to this work and suitable as an example for mechatronical education.

Keywords : Boolean algebra, programmable logical controller(PLC), obstacle avoidance vehicle

# 避障車方向控制器的製作

周立強<sup>1</sup> 游哲文<sup>2</sup>

- 1、 國立宜蘭技術學院生物機電工程系講師
- 2、 國立宜蘭技術學院生物機電工程系學生

## 摘要

本文目的主要是採以布林代數為基礎的演算法推演避障車方向控制的邏輯方程式，以配合可程式控制器轉換成階梯電路圖，並製作一模型車加以具體化此一構想。自走避障車(以下簡稱避障車)其製作主要是能閃避前行時所遭遇的障礙。其程式部分則以邏輯控制與時間序控方式來完成。最後分別以三種不同障礙型式的擺設作測試，該車均能順利閃避障礙達到所要求的動作功能，顯示此一方式的運用相當可行，可作為機電整合順序控制教學上的一個範例。

關鍵字：布林代數、避障車、可程式控制器。

## Development of a Directional Controller for an Obstacle Avoidance Vehicle

Li-John Jou<sup>1</sup> Che Wen Yu<sup>2</sup>

1. Lecturer, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan Institute of Technology
2. College student, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan Institute of Technology

## ABSTRACT

The objective of this paper was to develop a directional control methodology using Boolean algebra algorithm for an obstacle avoidance vehicle. The vehicle was controlled by programmable logical controller, in order to pass smoothly through obstacles. The control strategy combined logical and time-sequence control methods. A logical circuit composed of switching functions was efficiently transformed to PLC program. The complete electrical-mechanical system was successfully tested in our campus with three kinds of obstacle patterns. Through experimental results, it demonstrated that the methodology was feasible to this work and suitable as an example for mechatronical education.

Keywords : Boolean algebra, programmable logical controller(PLC), obstacle avoidance vehicle

## 一、前言

布林代數是離散數學的一支，其應用除了數位邏輯電路設計外，在 1990 及 1993 年分別有黃、蘇及蘇、陳等人應用在工業工程中電腦輔助製程設計排程路徑及鐵路自動控制數學模式之研究與分析上 [1,2]。在 1996 年游與黃將布林代數融入至類神經網路與模糊理論的系統設計理念中 [3]。在 2000 及 2001 年周等將布林代數演算法則應用在線控機器人與遙控車的可程式控制器的階梯電路 [4, 5]。因此布林代數對於決定邏輯控制路徑，是一個嚴謹運算法則。本製作目的主要是藉由分布在車體四周的感測器，以感測到障礙物相對於車體的方位，來制定避障車方向控制的策略。由於車體四周的感測器是有限的且具離散化的特質，因此採離散數學中布林代數 (Boolean Algebra) 演算法則推演出交換函數 (switching function) [6] 經 Quine & McCluskey 氏所提出的列表法 [7,8,9] 化簡其布林代數式再轉換成邏輯電路 (logic network) [10,11]，最後再轉換成可程式控制器階梯電路圖。在階梯電路圖中加入時間序控的觀念，並製作一模型車加以具體化此一構想。

自走避障車 (以下簡稱避障車) 的製作主要是能閃避前行時所遭遇的障礙，而車體上安裝有自製的微動開關以接觸方式感測障礙物來達到避障功能。避障車程式部分則以邏輯控制與時間序控方式在可程式控制器內完成。最後本製作分別以三種不同障礙型式擺設作測試均能順利閃避障礙達到所要求的動作與功能，顯示此一方式是相當可行，並作為機電整合順序控制教學上的一個範例外，在其他方面如環境控制、線控機器人、遙控車也是很有用的 [4,5]。

## 二、材料與方法

本製作主要分成避障模型車硬體製作說明、以布林代數為基礎的演算法推演過程、布林代數方程式轉換成邏輯電路、程式撰寫與外部電路配置、功能測試修正五個流程。以下將各流程進行方式內容分述如下：

### (一)、避障模型車硬體製作說明

避障模型車的底盤是以方口鋁 ( $25 \times 25 \text{ cm}^2$ ) 塑膠角套接並以拉釘方式組合而成，長寬均為 30cm。其行走部採兩顆 12V 直流馬達作為左右兩輪驅動動力，前後輪輔以惰輪，以減少方向迴轉時的半徑。底盤上置有可程式控制器、無線遙控接收器和兩顆 12v 電瓶。控制部係使用台安電機 (型號 TP02-40WRD) 直流可程式控制器作為核心。車體前後共放置 9 個自製微動開關 (前 5 後 4) 分別以線性與轉動軸承固定以減少磨擦提高零敏度。自製微動開關為機械接觸式，有正向與側向位置用來感測車體周圍在同一平面高度之上的障礙物位置，再將所感測到的訊號輸入可程式控制器作邏輯演算後輸出至外部的 4 顆繼電器，進而控制底盤馬達正反轉達到車體行進時的方向修正。如圖 1 所示為避障模型車整體構造之立體圖。

車體行走部馬達規格初步決定可依能量守恆方程式 (1) 概略預估出行走部所得之能量須克服動能及摩擦能，再進一步推求出馬達所需之輸出功率。為簡化起見，假設條件如下：

- I、 車體總質量為 5 公斤。
- II、 行進速度以平均速度為考慮，設為 0.15 (公尺/秒)。
- III、 簡化為以物體質心之運動，與地面摩擦為滑動摩擦 (此值會高於實際輪子與地面滾動摩擦) 而選用同材質地面及輪子其滑動摩擦係數約為 0.4。
- IV、 車體為 4 輪，假設每輪配重為 1.25 (公斤重)
- V、 S 為行走距離 6 公尺。

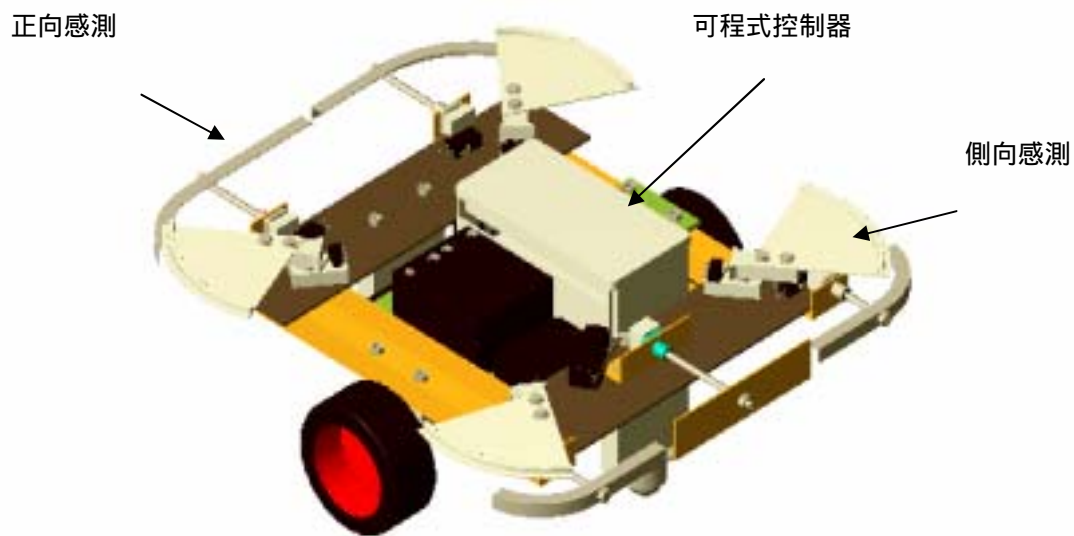


圖 1 避障模型車整體構造之立體圖

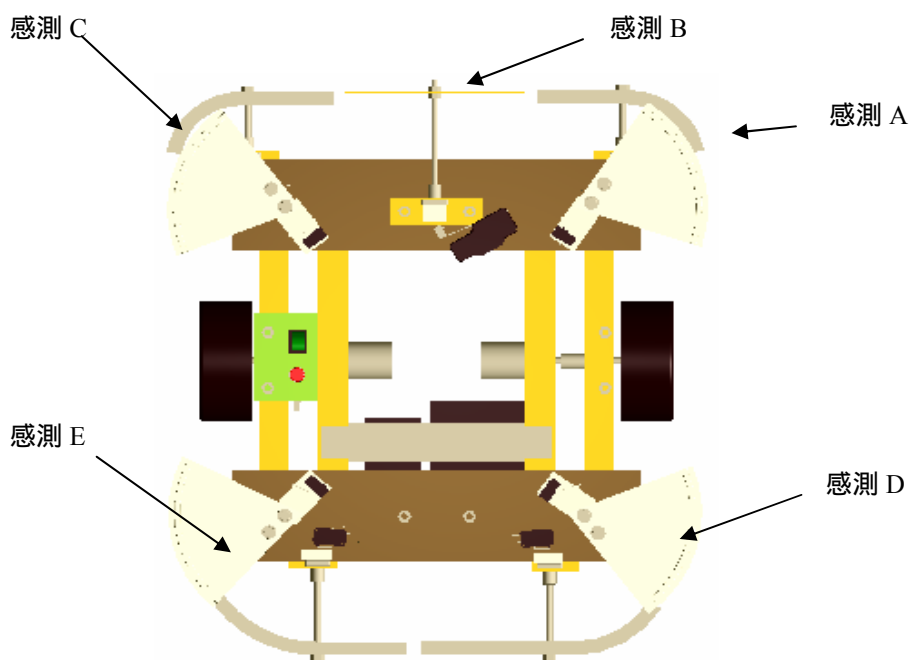


圖 2 避障模型車上視圖及微動開關佈置

$$J = \frac{1}{2}mV^2 + \mu NS \dots\dots\dots (1)$$

J：行走部外加能量(焦耳)。                      m：車體總質量。                      V：行進速度。  
 μ：地面摩擦係數。                                N：車體於地面之正向力。

經以上計算得母體需 J=118(焦耳)，在 40 秒內完成，因此車體所獲得之平均功率至少為 3(瓦特)，  
 驅動輪兩只馬達各需至少約 1.5(瓦特)。由行走輪徑 10 公分，平均速度 0.15(公尺/秒)可計算出馬達有

載下驅動轉速至少為 28.6(rpm)。接著由公式  $\tau = \mu Nr$  , r 為輪徑, 可推求出行走時地面摩擦所給予的反制力矩 為 1.875(kgf.cm)。由以上數據參考馬達與聯軸器型錄規格及國內現貨等因素下, 選用型號 DME33B37G 輸出為 3.0watt, 減速比 96, 空載下轉速為 38rpm、輸出轉矩 5.0kgf.cm, 聯軸器為型號 pk80-3, 3 kgf.cm, 最大瞬間可承受 9 kgf.cm。

## (二)、以布林代數為基礎的演算法推演過程

根據前面所述以車體上所佈置的微動開關感測障礙物方位, 定出車體方向修正方式再轉變成行走部馬達正反轉輸出, 最後制定出車體行進時方向修正所對應的邏輯真值表, 如表 1 所示。接著以布林代數為基礎的演算法演譯其交換函數經列表法化簡成邏輯電路, 再轉換成可程式控制器階梯電路圖, 最後完成在線上作避障車行進時的方向控制。而此推演過程分成輸入狀態定義描述、方向修正策略的形成與輸入出真值表建立、演算布林代數方程式及檢驗。以下將分述如下:

### 1、 輸入狀態定義描述

避障車前後共設有微動開關 9 個, 如圖 2 所示, 前方 5 個後方 4 個, 其中前方 5 個當中 A 及 C 各有正向與側向兩個微動開關為同一點輸入故僅形成 3 點輸入。同樣的後方 4 個當中 D 及 E 亦各有正向與側向兩個微動開關為同一點輸入故僅形成 2 點輸入。每一開關只有 ON-OFF 狀態, 因此微動開關的狀態輸入點對可程式控制器只有 5 點輸入並形成  $2^5=32$  種有限狀態的障礙物方位分布組合。此定義當狀態為 ON 時表示該方位有障礙物存在, 輸入接點閉合, 定邏輯值為 1。反之定平常狀態表示該方位無障礙物存在, 輸入接點開啟, 定邏輯值為 0。各輸入點所定義的邏輯變數為: A: 車體右前方。B: 車體正前方。

C: 車體左前方。D: 車體右後方。 E: 車體左後方。而根據上述定義可先建立輸入狀態的真值表中所對照的障礙物方位狀態定義欄, 如表一欄位(2)所示, 共有 32 種狀態組合。

### 2、 方向修正策略的形成與輸入出真值表建立

由表 1 欄位(3)車體方向修正的策略條件, 根據底盤左右直流馬達正反轉的機制以 Y1~Y4 的輸出變數反映在 0 與 1 的邏輯值即建立欄位(4)。而其中欄位(3)車體方向修正的策略條件及每一狀態(即代表一個節點)間的互動關係是可以用有向網路路徑圖或矩陣加以表示[7], 過程見於[10]。

### 3、 演算布林代數方程式及檢驗

依表 1 所制定出之邏輯真值表, 顯示欄位(2)輸入變數與欄位(4)輸出變數之間存在著一個轉換關係, 此一轉換關係在邏輯控制中即為布林代數方程式組, 如圖 3 所示。其基本演算方式可分成「積項之和」與「和項之積」[6, 11]。前者是把輸出變數  $Y_i$  出現邏輯值為 1 的所有組輸入變數的邏輯「積」(AND)運算相加, 輸入變數的邏輯值為 0 視為反相變數, 1 則為非反相變數。後者是把輸出變數  $Y_i$  出現邏輯值為 0 的所有組輸入變數的邏輯「或」(OR)運算相乘, 輸入變數的邏輯值為 0 視為非反相變數, 1 則為反相變數。在所有邏輯真值表中, 輸出變數的邏輯值為 0 的項數多於邏輯值為 1 的項數時, 採用「積項之和」演算方式較為方便, 反之 0 的項數少於邏輯值為 1 的項數時, 則採用「和項之積」演算方式較為方便[11]。以下(2)及(3)式即為其基本演算式。

「積項之和」寫成矩陣型式

$$[Y_i]_{n \times 1} = [\alpha]_{n \times (2^\beta - 1)} [m_j]_{(2^\beta - 1) \times 1} \dots \dots \dots (2)$$

$[Y_i]$ : 為一  $n \times 1$  階的輸出變數矩陣(本例中  $n=4$ , 故  $i=1\sim 4$ )。

[ $\alpha$ ]：係指根據輸入變數的邏輯運算所構成  $n \times (2^\beta - 1)$  階 0 與 1 的係數矩陣，即為  $Y_i$  輸出邏輯值矩陣的轉置矩陣。

$\beta$ ：係指輸入變數的個數(本例中為 5，共有 32 項)。

[ $m_i$ ]：係每組輸入變數「積」(AND)的邏輯運算矩陣。

表 1 感測障礙物位置與方向修正所對應的輸入出真值表及其布林代數方程式檢驗

(1) 序號	(2) 輸入變數					(3) 方向修正	(4) 輸出變數				(5) 布林方程式				(6) 檢驗布林方程式			
	A	B	C	D	E		左馬達		右馬達		左馬達		右馬達		左馬達		右馬達	
							Y1	Y2	Y3	Y4	Y1	Y2	Y3	Y4	Y1	Y2	Y3	Y4
m0	0	0	0	0	0	直線前進	1	0	1	0	1	0	1	0	ok	ok	ok	ok
m1	0	0	0	0	1	右前進	1	0	0	0	1	0	0	0	ok	ok	ok	ok
m2	0	0	0	1	0	左前進	0	0	1	0	0	0	1	0	ok	ok	ok	ok
m3	0	0	0	1	1	直線前進	1	0	1	0	1	0	1	0	ok	ok	ok	ok
m4	0	0	1	0	0	左後退	0	0	0	1	0	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m5	0	0	1	0	1	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m6	0	0	1	1	0	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m7	0	0	1	1	1	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m8	0	1	0	0	0	後退	0	1	0	1	0	1	0	1	ok	ok	ok	ok
m9	0	1	0	0	1	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m10	0	1	0	1	0	原地逆轉	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m11	0	1	0	1	1	**原地逆轉**	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m12	0	1	1	0	0	左後退	0	0	0	1	0	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m13	0	1	1	0	1	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m14	0	1	1	1	0	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m15	0	1	1	1	1	**原地順轉**	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m16	1	0	0	0	0	右後退	0	1	0	0	0	1	0	0	ok	ok	ok	ok
m17	1	0	0	0	1	原地逆轉	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m18	1	0	0	1	0	原地逆轉	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m19	1	0	0	1	1	原地逆轉	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m20	1	0	1	0	0	後退	0	1	0	1	0	1	0	1	ok	ok	ok	ok
m21	1	0	1	0	1	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m22	1	0	1	1	0	原地逆轉	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m23	1	0	1	1	1	**原地逆轉**	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m24	1	1	0	0	0	右後退	0	1	0	0	0	1	0	0	ok	ok	ok	ok
m25	1	1	0	0	1	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m26	1	1	0	1	0	原地逆轉	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m27	1	1	0	1	1	**原地逆轉**	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m28	1	1	1	0	0	後退	0	1	0	1	0	1	0	1	ok	ok	ok	ok
m29	1	1	1	0	1	原地順轉	1	0	0	1	1	0	0	1	ok	ok	ok	ok
m30	1	1	1	1	0	原地逆轉	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok
m31	1	1	1	1	1	**原地逆轉**	0	1	1	0	0	1	1	0	ok	ok	ok	ok

註有\*\* 號者為較不可能發生之狀況

(2)式中如果僅考慮  $m_j$  係指使輸出變數邏輯值為 1 的每組輸入變數「積」(AND)的邏輯運算，則(2)式可寫成係數均為 1 之級數型式

$$Y_i = \sum_{j=0}^{2^\beta-1} 1 \cdot m_j \dots\dots\dots (2-a)$$

$Y_i$ ：為一  $n$  個輸出的變數(本例中  $n=4$ ，故  $i=1\sim 4$ )。

：係指輸入變數的個數(本例中  $\beta=5$ ，共有 32 項)。

$m_j$ ：係指使輸出變數邏輯值為 1 的每組輸入變數「積」(AND)的邏輯運算。

「和項之積」可寫成如下型式

$$Y_i = \prod_{j=0}^{2^\beta-1} m_j \dots\dots\dots (3)$$

$Y_i$ ：為第  $i$  個輸出變數，本例中  $n=4$ ，故  $i=1\sim 4$ 。

$\beta$ ：係指輸入變數的個數，本例中為 5，共有 32 項。

$m_j$ ：係指輸出變數  $Y_i$  其邏輯值為 0 所對應的輸入變數「或」(OR)的邏輯運算式。

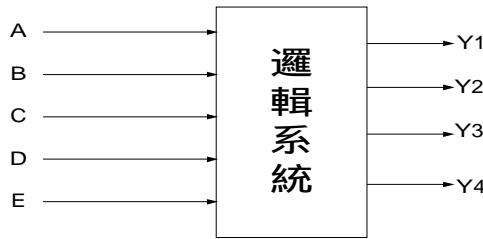


圖 3 五個輸入變數四個輸出變數的邏輯系統

以下將推演輸出變數  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_4$  四個布林代數方程式。依(2-a)式及表 1 輸出變數真值表可分別寫出  $Y_1$ (左馬達前進)、 $Y_2$ (左馬達後退)、 $Y_3$ (右馬達前進)、 $Y_4$ (右馬達後退) 輸出變數基本演算式。 $Y_1\sim Y_4$  為避障車閃避障礙物的主要方向修正的邏輯函數。

$$Y_1 = \sum_{j=0}^1 m_j + \sum_{j=5}^7 m_j + \sum_{j=13}^{15} m_j + m_3 + m_9 + m_{21} + m_{25} + m_{29} \dots\dots\dots(4-a)$$

$$Y_2 = \sum_{j=10}^{11} m_j + \sum_{j=16}^{20} m_j + \sum_{j=22}^{24} m_j + \sum_{j=26}^{28} m_j + \sum_{j=30}^{31} m_j + m_8 \dots\dots\dots(4-b)$$

$$Y_3 = \sum_{j=2}^3 m_j + \sum_{j=10}^{11} m_j + \sum_{j=17}^{19} m_j + \sum_{j=22}^{23} m_j + \sum_{j=26}^{27} m_j + \sum_{j=30}^{31} m_j + m_0 \dots\dots(4-c)$$

$$Y_4 = \sum_{j=4}^9 m_j + \sum_{j=12}^{15} m_j + \sum_{j=20}^{21} m_j + \sum_{j=28}^{29} m_j + m_{25} \dots\dots\dots(4-d)$$

以(4-a)式為例， $m_0$ 、 $m_1$ 、 $m_3$ 、 $m_5$ 、 $m_6$ 、 $m_7$ 、 $m_9$ 、 $m_{13}$ 、 $m_{14}$ 、 $m_{15}$ 、 $m_{21}$ 、 $m_{25}$ 、 $m_{29}$  所代表的每組輸入變數「積」(AND)的邏輯運算，因此表示如下：



$$m_0 = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot \overline{D} \cdot \overline{E} \dots\dots\dots (5)$$

$$m_1 = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot \overline{D} \cdot E \dots\dots\dots (6)$$

$$m_3 = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot D \cdot E \dots\dots\dots (7)$$

$$m_5 = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C \cdot \overline{D} \cdot E \dots\dots\dots (8)$$

$$m_6 = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C \cdot D \cdot \overline{E} \dots\dots\dots (9)$$

$$m_7 = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C \cdot D \cdot E \dots\dots\dots (10)$$

$$m_9 = \overline{A} \cdot B \cdot \overline{C} \cdot \overline{D} \cdot E \dots\dots\dots (11)$$

$$m_{13} = \overline{A} \cdot B \cdot C \cdot \overline{D} \cdot E \dots\dots\dots (12)$$

$$m_{14} = \overline{A} \cdot B \cdot C \cdot D \cdot \overline{E} \dots\dots\dots (13)$$

$$m_{15} = \overline{A} \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \dots\dots\dots (14)$$

$$m_{21} = A \cdot \overline{B} \cdot C \cdot \overline{D} \cdot E \dots\dots\dots (15)$$

$$m_{25} = A \cdot B \cdot \overline{C} \cdot \overline{D} \cdot E \dots\dots\dots (16)$$

$$m_{29} = A \cdot B \cdot C \cdot \overline{D} \cdot E \dots\dots\dots (17)$$

將(5)~(17)式代入(4-a)式，以布林代數演算法則可化至最簡式[7,8,12,13,14]

$$Y_1 = \overline{A}(\overline{BCD} + \overline{BE} + CD) + \overline{DE}(B + C) \dots\dots\dots (18)$$

同理依(4-b)、(4-c)、(4-d)之演算式可分別推演出  $Y_2$ 、 $Y_3$  及  $Y_4$  之布林代數方程式(過程見於[10])

$$Y_2 = A(\overline{BC} + \overline{E} + D) + B\overline{C}(\overline{E} + D) \dots\dots\dots (19)$$

$$Y_3 = \overline{BC}(\overline{AE} + AE) + D(\overline{C} + A) \dots\dots\dots (20)$$

$$Y_4 = B\overline{D}(\overline{A} + E) + C(\overline{A} + \overline{D}) \dots\dots\dots (21)$$

為避免演算錯誤，可將(18)~(21)式布林代數方程式組輸入至 EXCEL 電子試算表顯現其輸出變數邏輯值(即表 1 中欄位(4))與先前所制定之真值表(即欄位(5))加以比對。若完全相符則欄位(6)顯示「OK」表示演算無誤，反之欄位(6)出現「NO」，則表示演算錯誤，必須將(18)~(19)式重新演算。(18)~(21)式為避障車閃避障礙物的主要方向修正的邏輯函數，即構成本製作的主要方向修正中第一層 PLC 程式。

(三)、布林代數方程式轉換成邏輯電路

分別將(18)~(21)式轉換成邏輯電路於圖 4(a)~(d)所示，圖中已簡化層次以便轉換成可程式控制器階梯電路圖，此利用布林代數演算法則中狄摩根定理(De Morgan's Theorems)  $\overline{uv} = \overline{u} + \overline{v}$  及  $\overline{u + v} = \overline{u} \cdot \overline{v}$ 。

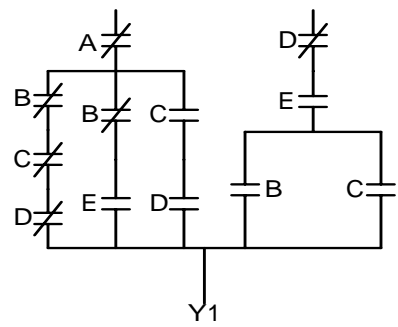


圖 4(a) 輸出變數  $Y_1$  的邏輯電路

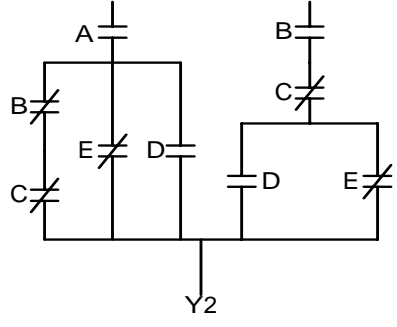


圖 4(b) 輸出變數  $Y_2$  的邏輯電路

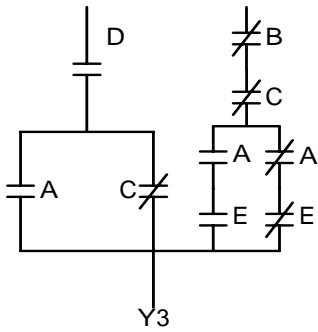


圖 4 (c) 輸出變數  $Y_3$  的邏輯電路

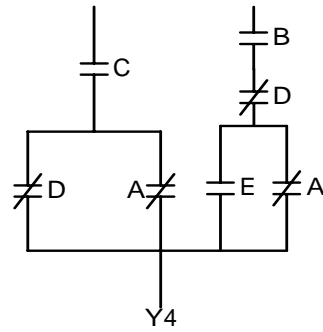


圖 4 (d) 輸出變數  $Y_4$  的邏輯電路

在避障車的主要避障方向修正的邏輯函數中，在表 1 中欄位(1)序號 8、20 及 28 表示車體正前方（定義為狀況一）左右前方及正左右前方（定義為狀況二）有障礙物時，其方向修正是被定義成車體後退，若沒有附加任何的轉彎動作，則車體會一直做前進後退的往復運動，造成無法駛離該區的窘境。為解決此一問題，本製作在後退時需加上時間序控及記憶功能，使車體後退至一定距離之後，再以時間控制車體轉彎的角度並左右搜尋前進的出口，此為進到第二層的方向修正程式，其狀況一與狀況二之流程如圖 5(a)、(b)所示。

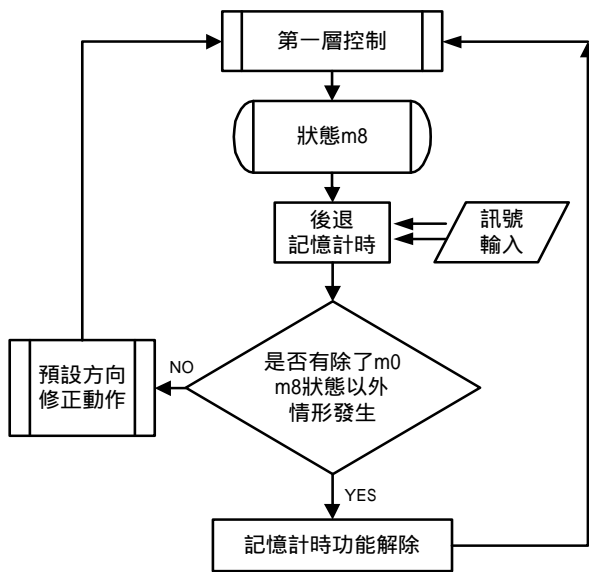


圖 5(a) 狀況一第二層方向修正流程示意圖

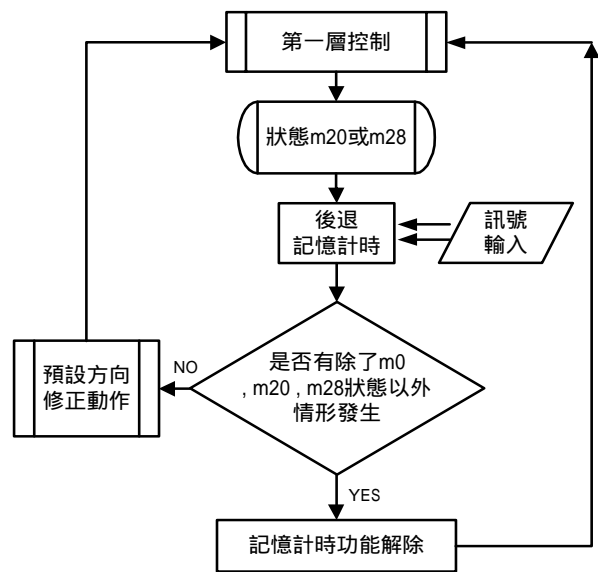


圖 5 (b) 狀況二第二層方向修正流程示意圖

根據圖 5(a) 流程表示當車體正前方有障礙物時（即表 1 中欄位(1)序號 m8）即觸發後退記憶計時電路使車體後退一段時間作左右前方的方向修正。在後退或作方向修正時其間感測到周圍有障礙物時（即表 1 中欄位(1)序號 m0、m8 以外的狀態）即作出解除預設電路的動作，如圖 6(a) 中 U 變數所示即是透過表 2 所設定的真值表除了欄位(1)序號 m0、m8 之外不作解除外，其餘狀態均作解除，又跳入第一層方向修正。中間變數 U 的布林代數方程式其演算過程是利用「和項之積」的觀念，將有輸出之值設為 0，而無輸出值設為 1，把輸出值為 0 的項目相乘後化到最簡[7,8,11]，即得其邏輯方程式  $U=A+C+D+E$ （過程見於 [10]）。同理根據圖 5(b) 流程表示當車體正、左右前方皆有或僅左右前方有障礙物時（即表 1 中欄位(1)序號 m20、m28）相同的推演得到圖 6(b) 的結果。接著以圖 6(a)、(b) 邏輯電路中的中間變數 P、Q、V、W 去修正圖 4(b)、(d) 的輸出變數  $Y_2$  與  $Y_4$  的邏輯電路，得圖 7 所示。最後合併修正成圖 8 所示之邏輯電路，

圖中 Y1 與 Y3 變數為原有圖 4(a)、(c) 的邏輯電路所控制，Y2 與 Y4 變數為圖 7 的邏輯電路所控制，C1~C6 變數則為第二層方向修正之邏輯電路所控制(即圖 6(a)(b))，而輸出變數 Y11~Y14 則是修正後終端輸出控制左右馬達正反轉的繼電器。

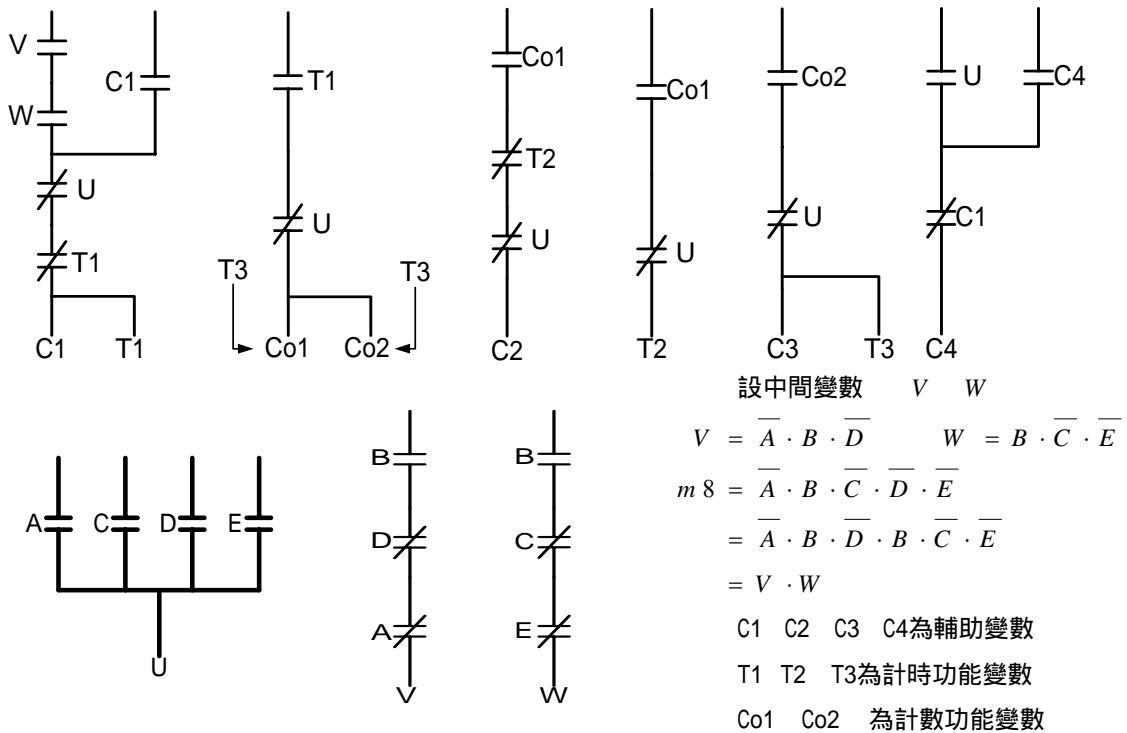


圖 6(a)、第二層方向修正之邏輯電路(1)

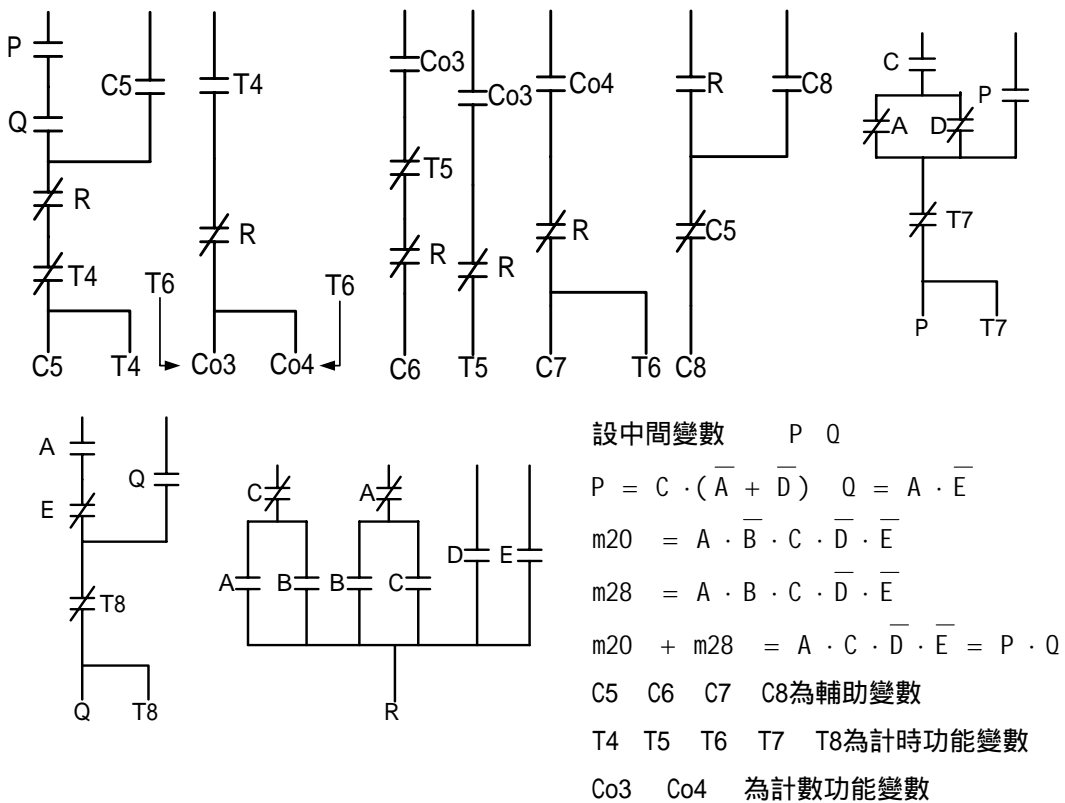


圖 6(b)、第二層方向修正之邏輯電路(2)

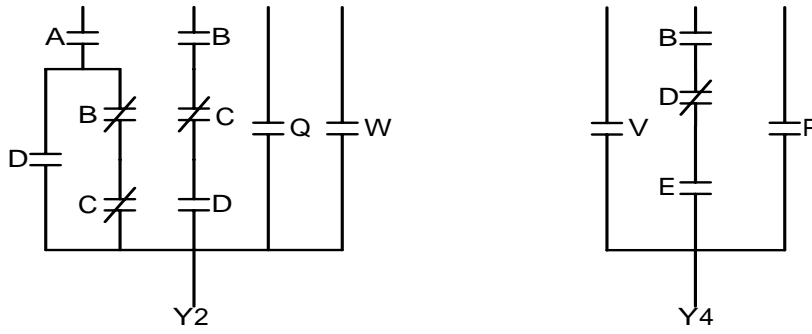


圖 7 輸出變數 Y2 及 Y4 在第二層方向修正的邏輯電路

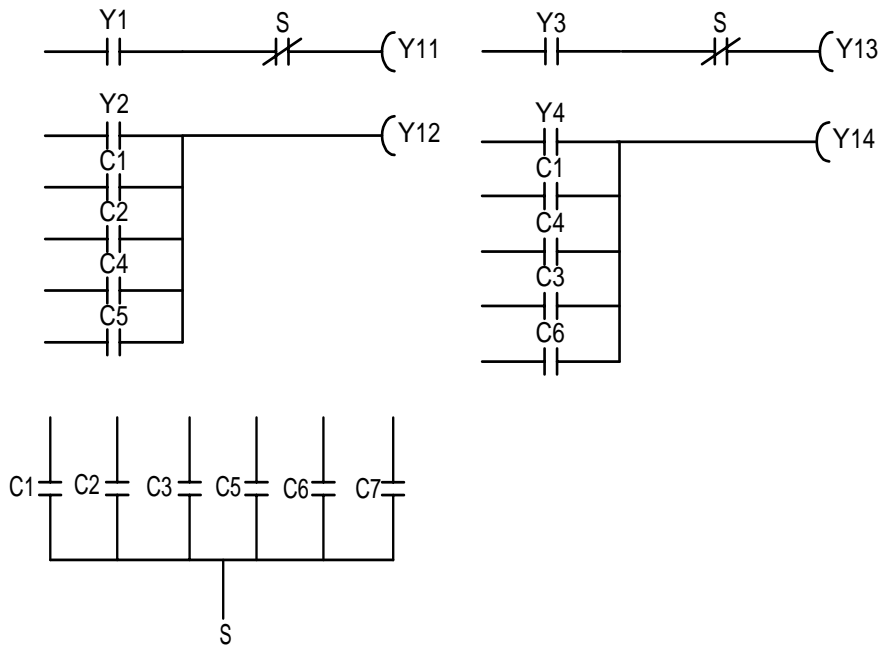


圖 8 最後合併第二層方向修正的邏輯電路

(四) 程式撰寫與外部線路

根據布林代數方程式所轉換的邏輯電路再編輯成可程式控制器的階梯電路圖，如附錄所示。而圖 9 所示則為本製作之外部線路。

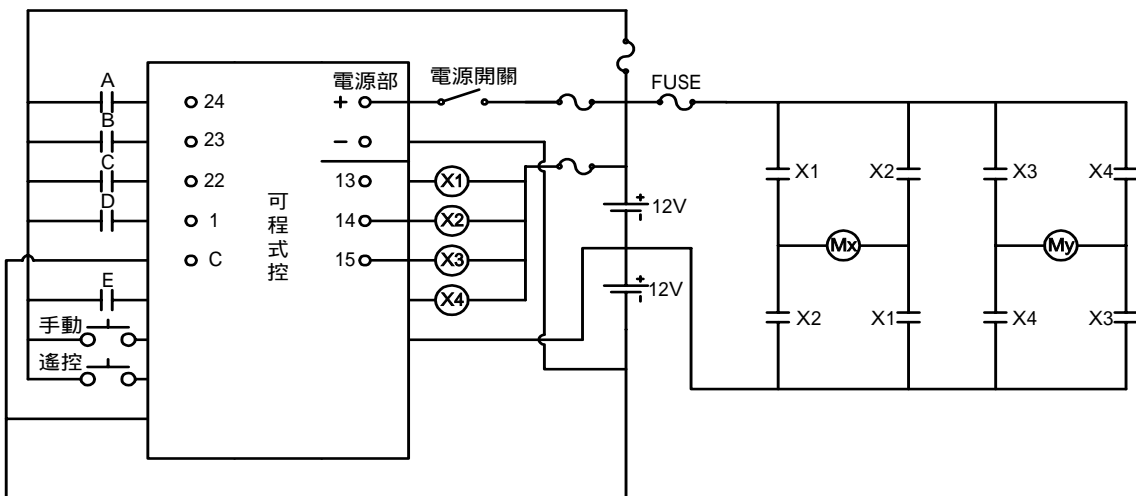


圖 9 本製作之外部線路

表 2 第二層方向修正對照真值表

(1) 序號	(2)輸入變數					(3)方向修正	(4)中間變數		(5)布林方程式		(6)檢驗布林方程式		備註
	A	B	C	D	E		R	U	R	U	R	U	
0	0	0	0	0	0	直線前進	0	0	0	0	ok	ok	
1	0	0	0	0	1	右前進	1	1	1	1	ok	ok	
2	0	0	0	1	0	左前進	1	1	1	1	ok	ok	
3	0	0	0	1	1	直線前進	1	1	1	1	ok	ok	
4	0	0	1	0	0	左後退	1	1	1	1	ok	ok	
5	0	0	1	0	1	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
6	0	0	1	1	0	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
7	0	0	1	1	1	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
8	0	1	0	0	0	後退	1	0	1	0	ok	ok	註 1
9	0	1	0	0	1	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
10	0	1	0	1	0	原地逆轉	1	1	1	1	ok	ok	
11	0	1	0	1	1	**原地逆轉**	1	1	1	1	ok	ok	
12	0	1	1	0	0	左後退	1	1	1	1	ok	ok	
13	0	1	1	0	1	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
14	0	1	1	1	0	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
15	0	1	1	1	1	**原地順轉**	1	1	1	1	ok	ok	
16	1	0	0	0	0	右後退	1	1	1	1	ok	ok	
17	1	0	0	0	1	原地逆轉	1	1	1	1	ok	ok	
18	1	0	0	1	0	原地逆轉	1	1	1	1	ok	ok	
19	1	0	0	1	1	原地逆轉	1	1	1	1	ok	ok	
20	1	0	1	0	0	後退	0	1	0	1	ok	ok	註 2
21	1	0	1	0	1	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
22	1	0	1	1	0	原地逆轉	1	1	1	1	ok	ok	
23	1	0	1	1	1	**原地逆轉**	1	1	1	1	ok	ok	
24	1	1	0	0	0	右後退	1	1	1	1	ok	ok	
25	1	1	0	0	1	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
26	1	1	0	1	0	原地逆轉	1	1	1	1	ok	ok	
27	1	1	0	1	1	**原地逆轉**	1	1	1	1	ok	ok	
28	1	1	1	0	0	後退	0	1	0	1	ok	ok	註 2
29	1	1	1	0	1	原地順轉	1	1	1	1	ok	ok	
30	1	1	1	1	0	原地逆轉	1	1	1	1	ok	ok	
31	1	1	1	1	1	**原地逆轉**	1	1	1	1	ok	ok	

註 1：車體後退 1 秒，採半間距的觀念左右搜尋，角度每次 30°。

註 2：車體後退 1 秒，採半間距的觀念左右搜尋，角度每次 60°。

### (五)、功能測試

本製作以三種障礙物擺設情形進行避障車的功能測試，障礙物選用高 20cm，直徑 10cm 的混凝土圓柱體。如圖 10(a)所示，每一圓柱體間距 70cm，車體以同一方向多次進入障礙區，底盤下有粉筆記錄其行走路徑，以觀測其重覆性，沿途並記錄其所經過的障礙物方位組合情形。接著改變不同的進入方向重覆上述步驟。圖 10(b)所示，車體以同一方向多次進入障礙區，觀測出口位置是否於同一處，又以出口處位置為進入處再觀測其行走路徑是否可逆。接著改變不同的進入方向重覆上述步驟。圖 10(c)所示屬隨機式的障礙排列，沿途設有多處胡同及車體無法通過的缺口以測試其避障與搜尋出口的功能。

### 三、結果與討論

1. 第一種障礙物擺放如圖 11 (a) 所示，固定避障車起始位置與進入角度。第一次行走路徑為紅色線段，在箭頭 A 所指處是一個凹型區域。在沒有第二層方向修正式時，會有一直來回無法駛離此地區的現象發生(箭頭 B 所指) 為解決此問題，增加了第二層方向修正式(如圖(6)、(7)及(8)所示)，可經由搜尋和記憶的能力通過障礙物到達終點。藉由重複的測試，可發現行走路徑具重複性，沿著箭頭 C、D 所指路徑。
2. 第二種障礙物擺放如圖 11 (b) 所示，在圖片上用黑色線所圍之區域為一小型缺口，它的寬度比車寬還窄(凹型區域)，表示避障車無法直接通過，必須繞道而行。當避障車到達此區域時，會有迴圈的現象發生，必須藉由搜尋和記憶的能力才能找到一條合適路徑(即箭頭 E、F、G 及 H 所指) 出去。
3. 第三種障礙物擺放如圖 11 (c) 所示，最初行走時會碰到一凹型障礙物及缺口，區域 I 所指，經由避障車的反覆搜尋和記憶之後，可脫離此迴圈繼續往前行進，沿著 J、K 路徑所指。接著由於區域 L 通道寬度比車寬還窄，而區域 M 通道寬度只比車體稍寬且通道不是直線稍具弧度，避障車經過時必須藉由感測器反覆搜尋之後才能通過，而走出一條路徑出來，箭頭 N 所指。

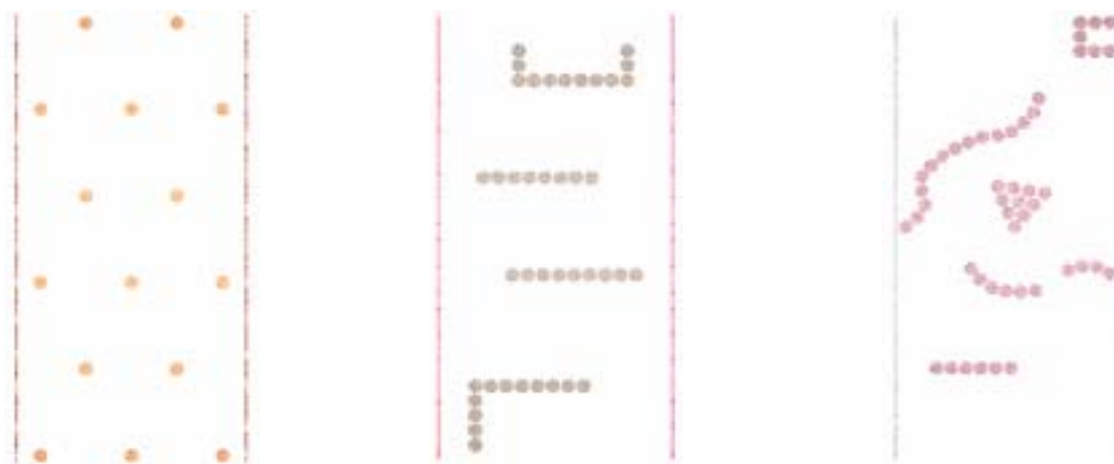


圖 (a)

圖 (b)

圖 (c)

圖 10 測試避障車功能的障礙物擺設情形

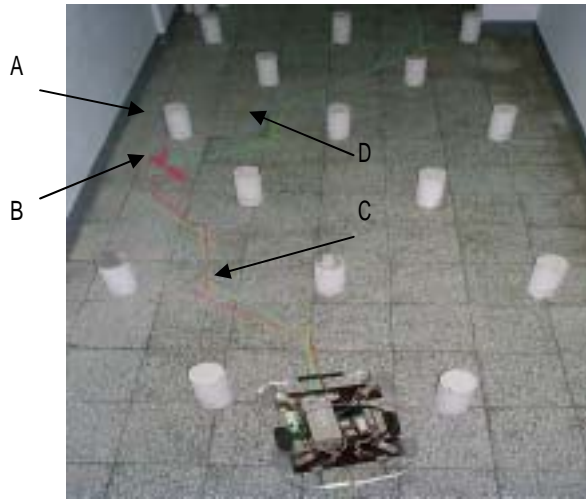


圖 11 (a)

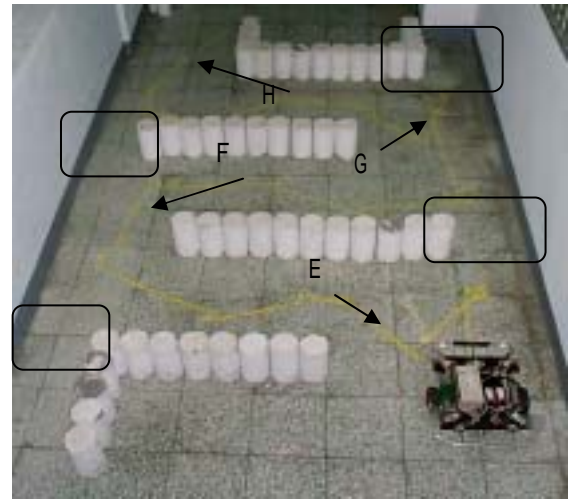


圖 11 (b)

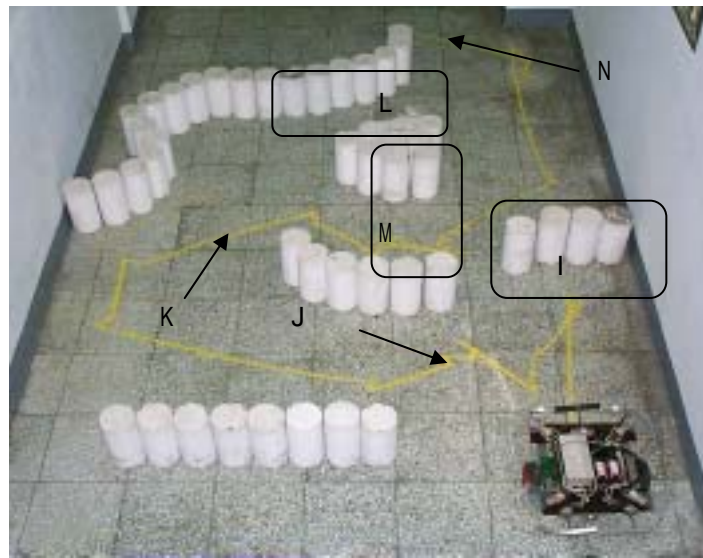


圖 11 (c)

圖 11 測試避障車通過障礙物情形

#### 四、結論與建議

避障車有五個方位感測部，共會有  $2^5=32$  種的避障狀態。由於上一個避障狀態又可對應到下一個避障狀態，所以至多會有  $32 \times 32$  共 1024 種的避障路徑。如此繁多的避障路徑若使用流程圖法，則會有許多盲點。所以本製作就利用布林代數作為演算法的基礎來推演多輸入變數與多輸出變數間所存在的布林邏輯關係式以轉換成接點邏輯電路 (switching network)，再將接點邏輯電路轉換成可程式控制器的階梯電路。其中為檢驗所推演的布林邏輯關係式之正確與否，本製作利用 EXCEL 電子試算表中邏輯函數功能指令來檢驗演算結果的真值表與原始真值表所制定的結果是否相符，這樣可保證正確性 100% 且電路化到最簡。所以說邏輯演算法比流程圖法完善。由於控制策略是透過真值表所定出，只要知道輸入狀況，再對應真值表即可預測動作結果，如此一來推演較複雜的階梯電路可節省大量時間。

避障車的感測器安裝在同一平面的高度，所以只能感測同一平面高度以上的障礙物，若要感測該平面下的障礙物時，必須增加感測器的數目且須以陣列方式排列。本製作的目的是為了要證明運用布林代數的觀念作為邏輯電路演算基礎是可行的，所以我們就僅採用 5 個方位的感測器作為基準，以驗證此方法的可行性，在沒有經費下所以就僅採用 5 個方位的簡易自製接觸式感測器作為基準，將來可依此類推採超音波或其他精密非接觸式感測器。當然增加感測器數目可使避障車對障礙物的方位判斷解析度提高許多，也使得避障過程變得更為精準。但同時也會使得演算過程變得更為繁複，這有賴於將來發展一矩陣模式 [15] 以計算機程式來取代整個演算過程，將使得多輸入與多輸出間的複雜邏輯關係得以快速且正確推演出 [7, 11]。

由於殘障者行動的不便，看到週遭的狀態時無法立即作出反應而會產生危險，避障車的構思可作為殘障者電動輪椅輔助設計參考。

## 五、參考文獻

- 1、黃智傑，蘇純縉(1990)，「應用語法外形辨識器之電腦輔助製程設計」，七十九年度中國工業工程學會年會論文集，pp247-256，。
- 2、蘇昭旭，陳木松(1993)，「鐵路自動控制數學模式之研究與分析」，大葉學報第二卷，第一期，第 33-48 頁。
- 3、游寶達，黃仁竝(1996)，「類神經網路與模糊理論的系統設計理念」，模糊系統學刊第二卷，第一期，第29-36頁。
- 4、周立強，高易宏，吳健昌(2001)，「線控機器人與自走子車製作在教學上之應用」，宜蘭技術學報第六期，第85-101頁。
- 5、李文斌，周立強(2000)，「邏輯控制法之推演與技術應用在遙控車的製作」，國立宜蘭技術學院農業機械工程系專題製作報告，第 10-26 頁。
- 6、張康，張茂盛(1997)，離散數學，第 271-311 頁，東華書局，台北。
- 7、Rosen, Kenneth H.(1999),“Discrete Mathematics and Its Applications”, 4<sup>th</sup> edition, WCB/McGraw-Hill Co., pp.593-617, Singapore.
- 8、Norris, Fletcher R.(1994),“Discrete Structures: an introduction to mathematics for computer science”, Prentice Hall Inc., pp.109-133, New Jersey.
- 9、胡咸(1998)，離散數學，第95-118頁，國立編譯館，台北。
- 10、游哲文，周立強(2001)，「以布林代數為基礎的演算法應用在避障車方向控制的製作」，國立宜蘭技術學院農業機械工程系專題製作報告，第 29 頁。
- 11、童景賢，陳育堂，藍天雄(1997)，自動控制概論，第 20-24 頁，全威圖書有限公司，台北。
- 12、楊水枝(1992)，自動控制，第 31-62，73-79 頁，正文書局，台北。
- 13、李肇廉(1992)，「布林函數最簡化之研究」，勤益學報第九期，第 131-139 頁。
- 14、周貴生(1994)，「多輸出邏輯網路化簡方法研究」，明新學報第十二期，第 63-67 頁。
- 15、王鐵人，吳銘札，林秀美(1995)，「布爾代數矩陣與數位邏輯布爾矩陣模式」，第二屆三軍官校基礎學術研討會理工類論文集，第 83-89 頁。



附錄

線圈/暫存器：  
元件註解-1：

