

## 自主性具跨越功能之輪型居家清掃機器人的研發

余志成\* 林燁敏 張書榮  
國立高雄第一科技大機械與自動化工程系

### 摘要

本文研究自主性具跨越功能的輪型居家清掃機器人的設計，改良現有家用自動清掃機器人，使其適用於具有高架地板的室內環境。此機器人組成包括集塵裝置與走行跨越機構，走行運動機構具有可展開、收合的前後輪臂，前輪臂上則裝設有兩個獨立驅動的驅動輪，利用輪臂的展開與收合，讓清掃機器人能跨越一般的高架地板台階，使其能順暢的在具有和室裝潢的居家環境進行清掃工作。本研究討論機器人的機構設計、清掃路徑規則、機電控制等課題，以 ADAMS 動態機構模擬軟體，模擬機構設計與機構的動作，以組合螺旋式(Spiral)、之字型(Zigzagging)、循邊(Wall Following) 的路徑、電子門的開關及和室的跨越等做為清掃整合的路徑。並架構出障礙物類型與感測的模態，做為機器人路徑走行的判斷與運動方式的轉換，藉由微處理器來實現感測模態與運動的控制，達成居家環境的清掃工作。最後透過製作原型實體與機電整合控制，測試清掃機器人跨越及執行清掃路徑的能力，來驗證本設計的可行性及功能性。

關鍵字：清掃機器人、輪型跨越機器人、動態機構模擬、清潔路徑、自走式真空吸塵器

### 1. 前言

隨著科技工業的發達進步，自動化機具的開發應用，也從過去的工具機設計，逐漸發展到可設置在居家或醫療系統中，而能產生擬人化動作，以提供人類日常生活所需。這些服務用機器人包含家用、警備及接待等類型的產品，其中以自動吸塵機器人(vacuuming cleaners)，俗稱打掃型機器人在消費市場中呈現高度成長的趨勢。其基本結構包括一基座，於基座中設置一可操作移動的動力裝置，以及一可吸入並容置灰塵的集塵裝置，或在基座底端增設滾筒型的拭塵紙及旋轉型的毛刷以提升清潔效果，同時配合控制路徑設計，使其可自行在室內空間中依行走路徑的設置，隨性自走、螺旋行走、靠牆行走或 Z 字型的移動，而達成在室內自動進行位移與打掃工作。

Oh 和 Watanabe[13]提出一簡單、有效率導航的小型家用清潔機器，只使用近接感測器來執行導航，提出三種走行法則：(1)隨性型(Random advance)；(2)之字型(Zigzagging advance)：如牛耕地走行的方式；(3)螺旋式的矩形(Rectangular spiral advance)，運用於一

般未知的家居環境清掃；Palacin 等人[14]則在機器人側邊裝設超音波感測器，由之字型(Zigzagging)及循牆壁(Wall following)模式，以側邊參考距離向量(LRDV)的方法，讓機器人能依循牆壁而走直線路徑，並與牆壁保持一定距離平行前進，得到較好的清潔效果。而目前推出商品化的家用清掃機器人如美國「Roomba」[1]、瑞典「Trilobite」[2]及國內的「TRV-10 趴趴走機器人吸塵器」[3]等，則同樣以扁平的外形及具備有真空吸塵或清潔毛刷的架構，以各種感測器為導航方式來執行隨性型、之字型或螺旋型等清掃路徑，完成居家環境的清潔工作。

但目前這類打掃型機器人雖能自動的進行位移並清潔地面上的髒污灰塵，然而，其亦僅限於單一平面的位移，而無法自動跨入具有門檻的房間或高度階級層的和室區間，而這類的和室裝潢在東亞及北亞的國家中甚為普遍。故其遇到和室階層時需以人力將其提昇、搬移，才能繼續進行清潔打掃，因此侷限了自動連續清掃的區間與效率。

越障機器人主要分為足行與輪型兩類，足行是機器人雖具有較高的越障能力，但輪型機器人則具有較快的移動速度與較簡單的平衡控制，或有結合二者優點的主動式輪臂設計[4][5]。之前關於越障輪型機器人的研究主要是在越野的應用如外星探險車[6][7]，而近年來在家用機器人的研究多集中在能爬樓梯的輪椅設計[8][9][10]。但若要將越障機構應用在家用打掃機器人上，以便於移動與跨越和室台階與突出門檻為設計目標，在機構設計上則必須講求扁平化與控制簡單化。在一般越障車的設計則有橡皮履帶式，藉由摩擦與強勢推進力，將車子直接跨越障礙，或是結合履帶輪臂可跨越多種障礙(如圖一與圖二)。但履帶式的能源效率較差，且摩擦的方式也有傷害地板的疑慮，故較少使用於家用機器人。



圖一 iRobot 所生產之越障移動式機器人 PackBot-scout[11]



圖二 ABP 所生產之越障移動式機器人 Guardian miniature ROV[12]

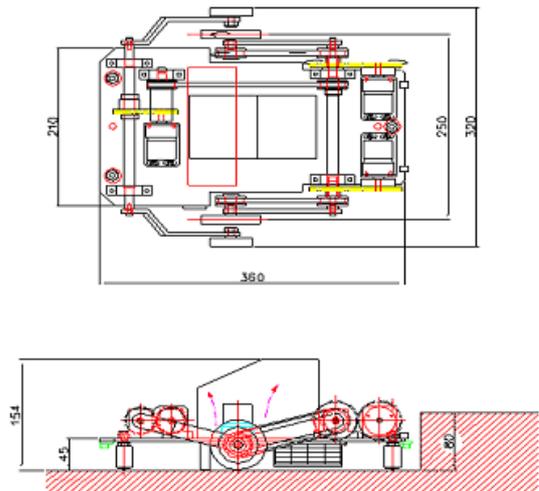
因此本文研究「具攀爬功能的移動式清掃機器人」[15][16]，藉由機器人本身的攀爬機構，與偵測裝置，使移動式機器人可由地面攀爬至高架地板(如和室)上，或由高架地板走下地面，在順暢無間斷的機制下完成室內的環境清潔工作，其跨越的標物高度約在 6 公分至 8 公分的範圍。同時藉由清掃路徑的探討，配合感測器的整合與清掃模態的智慧型轉換，以期能讓清掃機器人完成近乎全域性的清掃工作，提昇工作效率。

## 2. 系統構造

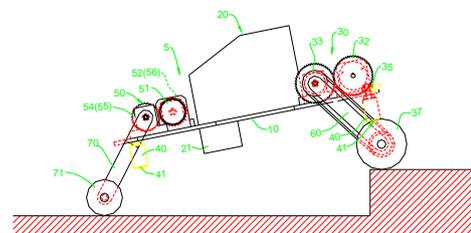
本研究從概念的設計與機構模擬，同時需考量清掃路徑規劃，與藉由感測器與機電整合進行障礙辨識與避障、越障，最後以原形實體的製作呈現驗證設計概念。

### 2.1. 機構設計

本研究所研發的機器人是一具跨越功能的自主清掃機器人，為達成上述目的，本機構設計包括一基座、集塵裝置、行進動力組、與攀爬機構。機座下方設有旋轉毛刷與吸塵器作為清掃用。於基座中設置一可展開收合的輪臂作為驅動與攀爬機構，平時輪臂疊合如圖三，以兩個獨立傳動的大輪作為機器人前進與轉彎之用。而遇到台階障礙時可藉由展收動力組銜接而連動進行展開、收合的第一擺臂及第二擺臂，輪臂的展開使移動式清潔器可跨越凸出門檻或由地面攀爬至高架地板(如和室)上，或由高架地板走下地面如圖四，達到可立體移位而更能夠連續順暢的執行清掃工作，真正達到全域性清掃的目的。尤其對於室內裝潢具有高架地板、和室或凸出門檻，可免於人力搬動清潔器之高度轉換動作，而達到更方便省力及順暢持續的進行打掃工作。



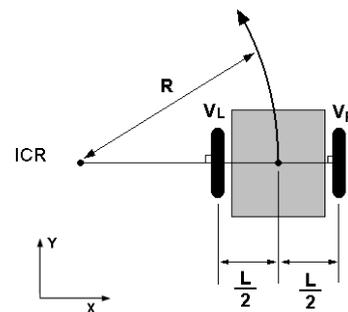
圖三 打掃機器人機構設計



圖四 跨越台階的機構設計

### 2.2. 輪行機器人的轉向分析

當機器人做轉彎行走時，採用一種類似 Ackerman 原理的轉彎方式，讓機器人對著瞬時曲率中心(ICR)，以一穩定的速度做圓弧旋轉，解決了機器人的轉彎問題。如圖五所示。



圖五 瞬時曲率中心的圓弧旋轉示意圖

此時左輪的線速度為

$$V_L = \left( R - \frac{L}{2} \right) \omega \quad (1)$$

右輪的線速度為

$$V_R = \left( R + \frac{L}{2} \right) \omega \quad (2)$$

機器人的線速度為

$$V = \frac{V_L + V_R}{2} \quad (3)$$

機器人的角速度

$$\omega = \frac{V_R - V_L}{L} \quad (4)$$

以系統動態方程式來表示機器人之速度狀態

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix} \quad (5)$$

所推演得到之系統動態方程式可表示為：

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos\theta & r \cos\theta \\ \frac{2}{r \sin\theta} & \frac{2}{r \sin\theta} \\ \frac{2}{-r} & \frac{2}{r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_L \\ \omega_R \end{bmatrix} \quad (6)$$

r 為輪子半徑

θ 為機器人旋轉角度

因此，由機器人之線速度與角位移的關係可得到左、右輪之速度，經由左、右輪速度差的控制，則機器人將可做一穩定而平滑的轉彎運動。

### 2.3. 系統機構運動模擬

為檢測機構的正確性與確定動作的動力控制流程及所需求的馬力，本研究使用動態模擬分析軟體 ADAMS，建構跨越清潔機器人模型，對走行動作與跨越的階梯環境進行模擬與分析。建構的方式如圖六所示。由(A)的幾何圖形建置機器人的結構形狀，再以(B)的連接點將各構件依運動性質來設定固定接點、旋轉接點、動力傳輸接點等，並由(C)碰觸力元素中選取輪胎為接觸碰撞之構件，最後由(D)運動功能中選取運動動力及設定控制時序，以完成跨越清潔機器人的動態模擬，包括一般平面之移動模擬(圖七)與跨越台階(圖八)之動作模擬。

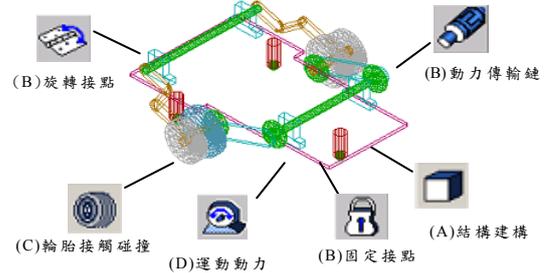
## 3. 清掃路徑分析

### 3.1. 清掃模態

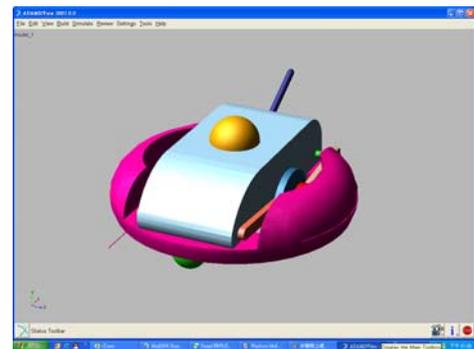
本文提出四種走行動態：(1)螺旋式的矩形(Rectangular spiral advance):以矩形行走，類似螺旋狀的由內往外逐漸擴張、延伸，如圖九(a)，(2)巡邊式(Wall following):沿著障礙物邊緣行走，如圖九(b)，(3)之字型(Zigzagging advance):如牛耕地行走的方式如圖九(c)，(4)隨機型路徑，如圖九(d)。對於一般家庭環境，則必須要藉由多種清掃模態的轉換，來完成全域性的清掃。

之字型的清掃路徑，是全域性清掃中常為大家所採用的方式，相較於隨機式的清掃，具有較高的清掃效率。但太規則的清掃方式可能會有清掃的死角問題，為提升機器人清掃房間的效率以及尋找最佳路徑

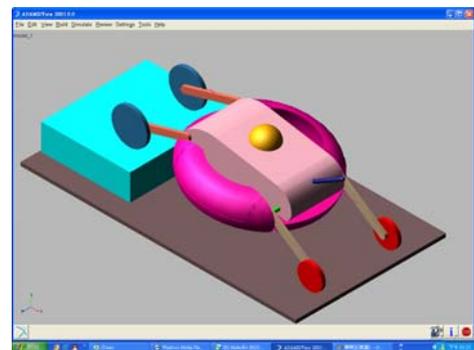
清掃策略，本研究利用 VB 程式來撰寫路徑清掃模擬程式，以分析各種清掃路徑與模態組合之清掃效率。



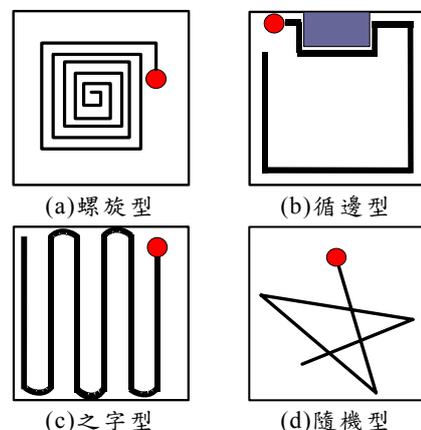
圖六 跨越清掃機器人的模型建構



圖七 機器人收合輪臂進行一般移動之模擬



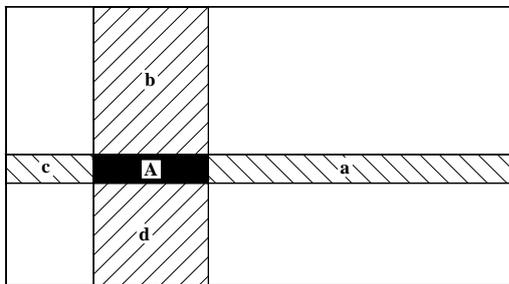
圖八 機器人展開輪臂攀爬台階模擬



圖九 基本清掃模態

### 3.2. 清掃特性分析

一般市售清掃機器人主要以隨機型與之字型掃瞄清掃為主，隨機型雖然控制簡單，但確有清掃效率與死角的問題。而之字型清掃則因具規則性，理論上在無障礙空間清掃具有較高的清掃效率，但當遇到障礙時也容易存在死角的問題，而且在實際控制上所面臨的挑戰較高。以一般具有一矩形障礙物的室內平面配置為例，若以之字型垂直方向的反覆清掃，可能有 b、d 清掃不到的遮蔽區，稱為垂直遮蔽區；水平清掃方向則會有 a、c 清掃不到的遮蔽區，稱為水平遮蔽區如圖十所示。垂直掃瞄路徑清掃後，所留下的垂直遮蔽區，可以水平的路徑清掃將遮蔽區清除；同理，以水平路徑清掃所留下的水平遮蔽區，可由垂直的路徑清掃，將之前的遮蔽區清除。

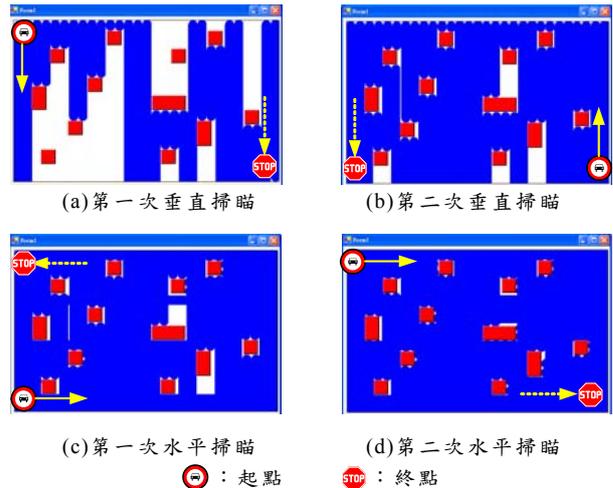


圖十 之字型清掃矩形障礙物所產生的遮蔽區

### 3.3. 單一空間的清掃分析

隨著障礙物的增加與不同的分布位置，這些障礙物的遮蔽區也會增加並產生交互重疊的現象。即使是多個障礙物所造成的同向交集的遮蔽區，仍只要有一正交的路徑即能清除該遮蔽區。因此，對於同垂直方向或同水平方向交集的遮蔽區，它的清掃路徑，仍只需運用水平與垂直的結合路徑，就能達成全域性清掃目的。但對於垂直與或水平與垂直重疊交集的遮蔽區，每一重疊區則需要另外增加一組垂直加水平的路徑才能清除，但須注意在兩次同向平行掃瞄時，為避免第二次掃瞄時所造成的遮蔽區與前一次相同，需避免跟前一次相同的清掃路徑。

因此對於多個矩形障礙物不規則分布的環境如圖十一，雖然其所形成的遮蔽區有多個垂直、水平與多個垂直、水平交插重疊的區域，研究發現以兩次正交的重複清掃，即垂直(去)、垂直(回)；水平(去)、水平(回)的交替路徑清掃，可達成大多數全域性的清掃目的[16][17]。而垂直去的起點與垂直回來的終點，不會是同一位置，其原因乃在於去程到達終點後，是順著路徑轉彎 180° 回來，與原來的路徑相同但轉彎會在原轉彎的另一側，如此可讓路徑在碰到障礙物時，會走原走過的另一側，除能避免再次重覆原路徑外，同時回程的終點會在與起點同側的另一端，再進行下一個路徑時，也不會在原來的起點位置上。

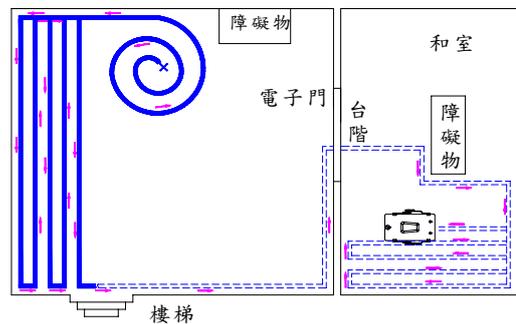


圖十一 多個矩形不規則分佈交集遮蔽區之之字型清掃模擬

### 3.4. 機器人清掃策略

所規劃的清掃模式包括有單一空間的清掃、電子門的開關及和室台階的跨越，經由以上模式的組合來完成單樓層全域環境的清潔。其中單一空間的清掃則包含有螺旋式(Spiral)清掃的模態、循邊的路徑模態及之字型的清掃模態等，藉由這些模態的轉換，來執行空間環境的打掃。

對於典型單一空間如圖十二，本研究進行各項清掃模式組合的模擬分析，推演各種模態的轉換策略，藉由模擬分析來找出最有效率的清掃路徑策略如下：由於機器人打掃位置並不一定放置於特定位置，故在機器人開始清掃時，可置放於某個較僻的區域中心，先螺旋式(Spiral)清掃該區域同時來尋找邊界，之後再以循邊方式來找到角落作為搜尋起始點，以便進入之字型清掃模式，於執行 2 次垂直與 2 次水平的之字型路徑後，便可完成單一空間的清掃，機器人將進入下一個清掃模式，或是完成清掃，以循邊返回基座。



圖十二 居家清掃模式

### 3.5. 清掃區間的控制

因應清掃區域可能包括和室或是部分不希望被機器人進入的區間，本研究提出「電子門」作為清掃區間的控制，電子門可設定開關。常閉型可設置於不

希望移動式清潔器進入的區域入口，而成為一電子牆，當移動式清潔器在清掃時，感應到該電子門為關閉，可防止清潔器進入。而開關型可用於多重房間與包含高架地板區域的清掃控制。一開始為設定關閉，使清潔器能侷限在目前的區間打掃，當房間清掃完，電子門打開，讓清潔器走出房間後再度關閉，用以防止清潔器在執行清掃時再次進入，以提高清掃的效率。電子門兩側設有感測器，感測器可為超音波、紅外線或於門前後設置金屬片，作為進出口的控制。

若在單一空間的清掃過程中偵測到和室的電子門，則繼單一空間清掃完畢後，機器人將進入和室房間的清掃模式。首先機器人由循邊模式找尋電子門，至感測到電子門訊號後，開始展開輪臂跨越和室的動作，並於進入和室後，開始執行單一空間之清掃模式，完成清掃後，循邊找尋電子門並跨下和室台階。再由循邊路徑返回基座。

#### 4. 機器人的機電控制

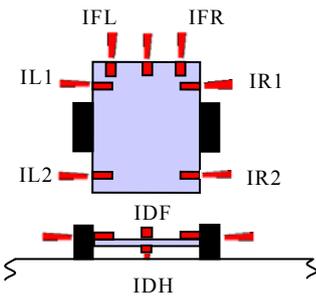
##### 4.1. 機器人的基本運動控制

本研究利用單晶片 (PIC) 與感測元件來實現機器人基本的運動控制，以模組化指令區分為以下的幾種運動模態: 直行(Forward)、原地旋轉(Spin)、迴轉(Turn)、螺旋旋轉(Spiral)及跨越上、下(Stride up and down)，等六種模態各運動模態說明如下。

- A. 直行(FWD)—機器人兩輪以同一速度前進(+)或倒退(-)運動。
- B. 原地旋轉(Spin)—機器人兩輪以同速度但相反方向的在原地逆時針(+)或順時針(-)旋轉某一角度( $\theta$ )的運動。
- C. 原地迴轉(Turn)—機器人以單側輪為中心，在原地逆時針(+)或順時針(-)旋轉某一角度( $\theta$ )的運動。
- D. 螺旋旋轉(Spiral)—機器人兩輪以逆時針(+)或順時針(-)每旋轉 $360^\circ$ 後，以等差的速度逐漸增加而形成螺旋狀擴展的運動。
- E. 跨越上(STDUP)—機器人前、後擺臂展開，跨上台階的動作。
- F. 跨越下(STDDN)—機器人前、後擺臂展開，跨下台階的動作。

##### 4.2. 障礙物的類型與判斷

機器人於清掃行進中，則會遭遇有不同類型的障礙，本研究在機器人上方共設置有前端左、右紅外線感測器 (IFL、IFR) 及和室高度感測器 (IDH)；左側方前、後紅外線感測器 (IL1、IL2)；右側方前、後紅外線感測器 (IR1、IR2)；前端下方的高度偵測紅外線感測器 (IDF)，所有感測器的位置如圖十三所示。而機器人將依感測器的訊號判斷障礙類別如表 1，“+”代表被觸發而輸出訊號的感測器，並依障礙類型採取適當避障方式。



圖十三 感測器配置圖

表 1 各類型障礙物的感測訊號模式

障礙物類型	機器人感測說明	輸出訊號感測器								
		IFL	IFR	IL1	IL2	IR1	IR2	IDH	IDF	VD
A. 前方障礙物 (Front obstacle) 	觸發前端感測器 IFL、IFR 及 IDH。高度偵測維持觸發。	+	+						+	+
B. 左方角落 (Left corner) 	觸發前端感測器 IFL、IFR、IDH 及左側方感測器 IL1、IL2。高度偵測維持觸發。	+	+	+	+				+	+
C. 右方角落 (Right corner) 	觸發前端感測器 IFL、IFR、IDH 及右側方感測器 IR1、IR2。高度偵測維持觸發。	+	+			+	+		+	+
D. 死巷 (Dead end) 	觸發前端感測器 IFL、IFR、IDH；左側方感測器 IL1、IL2；右側方感測器 IR1、IR2。高度偵測維持觸發。	+	+	+	+	+	+		+	+
E. 電子門 (Virtual door) 	原觸發左側方感測器 IL1、IL2 停止觸發後，往前再觸發電子門感測器 VS，表示門口在機器人左側。高度偵測維持觸發。 原觸發右側方感測器 IR1、IR2，觸發電子門感測器 VS 後，往前停止觸發，表示門口在機器人右側。高度偵測維持觸發。			+	+				+	+
F. 和室台階 (Stage) 	觸發前端感測器 IFL、IFR、IDH 和室高度偵測停止觸發。高度偵測維持觸發。	+	+							+
G. 樓梯 (Stair) 	樓梯感測觸發前端感測器 IFL、IFR 及 IDH。 樓梯懸空時高度偵測停止觸發。	+	+						+	+
H. 基座 (充電墊) (Base) 	左側方感測器 IL1、IL2 維持觸發，並觸發基座感測器，表示基座在機器人左側。高度偵測維持觸發。 右側方感測器 IR1、IR2 維持觸發，並觸發基座感測器，表示基座在機器人右側。高度偵測維持觸發。			+	+				+	+

運動控制將藉由左右馬達轉速的控制，包括前進，後退，加減速及左右轉等運動模式，在感應到地面上有物體妨礙前進時，可依電路佈設的控制手段去改變馬達，使左右馬達一正轉一反轉而能進行轉向動作。深度感測器則可探測機器人底端該處是否為階層懸空處，而可以控制馬達進行轉向操作，其目的是在機器人進行清潔打掃工作時，可以深度感應器探測機器人基座所處位置是否已在邊界懸空，若是則可控制馬達進行轉向操作。透過單晶片的控制，因應使用的需求時機加以觸發及接收回應 (Echo)，而辨別障礙物及斷層，經由感測器的選擇與判斷，來修正機器人的行走避障及路徑模式的切換。

### 4.3. 清掃模態的控制

所規劃的清掃模式包括有單一空間的清掃、電子門的開關及和室台階的跨越，經由以上模式的組合來完成單樓層全域環境的清潔。其中單一空間的清掃則包含有螺旋清掃的模態、循邊的路徑模態及之字型的清掃模態等，藉由這些模態的轉換，來執行空間環境的打掃。

#### 4.3.1. 螺旋路徑的清掃模態

螺旋式的路徑模態，其目的為對於環境中某一集中的骯髒區塊，可先由此方式快速的清除，如此可確保骯髒區域的清除效益。機器人於此模態開始啟動後，以逆時針或順時針的方向，由內而外的矩形螺旋開展，直至感測到障礙物時，停止螺旋旋轉，並直行前進找尋牆壁邊界後，進入循邊模式。

#### 4.3.2. 循邊找尋角落的路徑模態

以循邊方式找尋邊界的角落，做為之字型清掃路徑開始的起點位置。此模態的進行方式為，機器人由循邊方式直行前進，至表1障礙類型B(左邊角落)時，原地順時針迴轉180°後，進入之字型清掃模式；或至障礙類型C(右邊角落)時，則將原地逆時針迴轉180°後，進入之字型清掃模式。

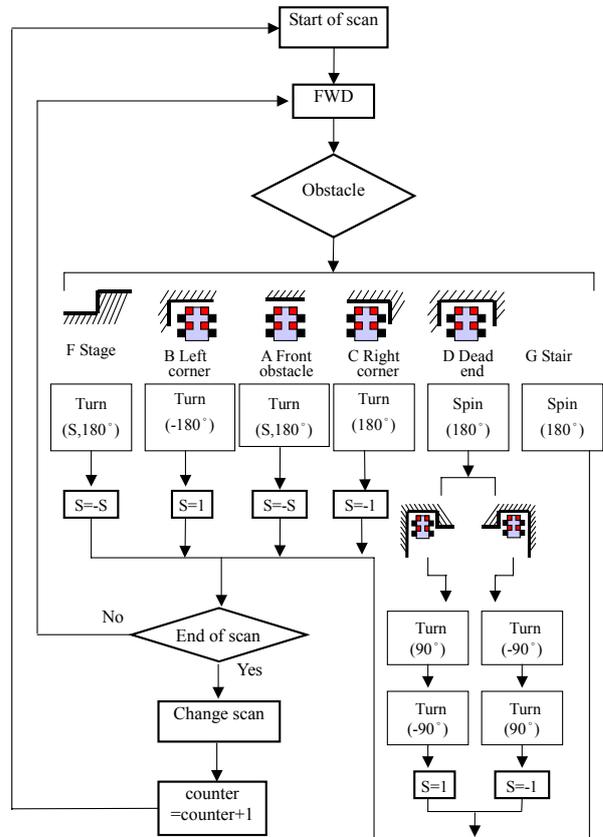
#### 4.3.3. 隨機型路徑清掃模態

當循邊找尋路徑不確定能達到目標，或惟恐機器人被侷限於某一角落時，可使用隨機型(Random)的路徑模式。此模態的進行方式為，當機器人前進中，遭遇表1中障礙類型A(前端)或B(左方)感測有障礙物時，機器人將原地順時針迴轉90°後，直行前進；若為感測有障礙物C(右前方)時，機器人將原地逆時針迴轉90°後，直行前進。並計算其碰觸障礙物的次數，當計數達到10次時，即停止隨機路徑而轉換為循邊模式。而所選用的迴轉角度越小時，機器人random的範圍將越小，越容易被侷限在某一區域，因而選擇90°的旋轉角，使機器人的移動範圍能拓展開來，更容易達成搜尋的目的。

#### 4.3.4. 之字型路徑的清掃模態

機器人於完成單一空間或欲找尋和室電子門及完成和室的清掃工作後，亦或於清掃工作期間電力不足時，將由循邊路徑找尋電子門或返回基座充電、停駐。此模態的進行方式為，機器人於前進中，進入右邊角落時，將原地逆時針迴轉90°後，直行前進；進入左邊角落時，將原地順時針迴轉90°後，直行前進。而當機器人右側邊感測到邊界的凸出障礙物時，將以原地逆時針、順時針、順時針、逆時針的順序迴轉4個90°後，直行前進；若為左側邊感測到邊界的凸出障礙物時，將以原地順時針、逆時針、逆時針、順時針的順序迴轉4個90°後，直行前進。至機器人找尋到

電子門或返回基座後，結束此模態。其模態進行的流程如圖十四所示。



圖十四 之字型清掃路徑的流程圖

#### 4.3.5. 循邊路徑的清掃模態

機器人於完成單一空間或欲找尋和室電子門及完成和室的清掃工作後，亦或於清掃工作期間電力不足時，將由循邊路徑找尋電子門或返回基座充電、停駐。此模態的進行方式為，機器人於前進中，進入右邊角落時，將原地逆時針迴轉90°後，直行前進；進入左邊角落時，將原地順時針迴轉90°後，直行前進。而當機器人右側邊感測到邊界的凸出障礙物時，將以原地逆時針、順時針、順時針、逆時針的順序迴轉4個90°後，直行前進；若為左側邊感測到邊界的凸出障礙物時，將以原地順時針、逆時針、逆時針、順時針的順序迴轉4個90°後，直行前進。至機器人找尋到電子門或返回基座後，結束此模態。

#### 4.3.6. 跨越和室的路徑模態

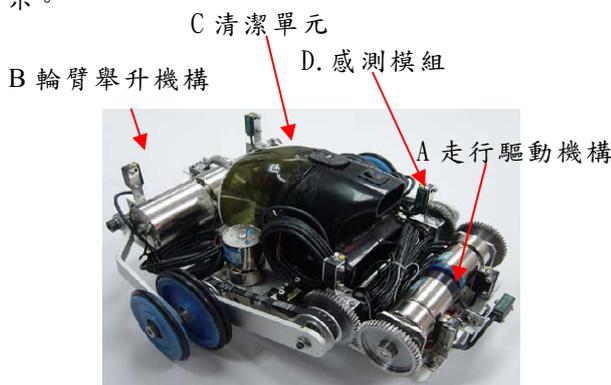
當清掃機器人欲進入和室清掃時，將經由循邊的模式找尋到電子門後，展開輪臂跨越的動作進入和室清掃，或於和室清掃完後，也將依循邊的模式找尋到電子門後，展開輪臂跨下和室。此模態的進行方式為，機器人由循邊方式前進中，感測到門口設置之金屬片或觸發門口之紅外線或超音波感測器時，若右側感測器觸發停止，表示門口在機器人右側方，則機器

人順時針原地旋轉90°後，進入跨上和室台階模式；若為左側感測器觸發停止，則機器人逆時針原地旋轉90°後，進入跨上和室台階模式。而於清掃完成後，同樣由循邊模式感測到這些訊號後，若為左側感測器觸發停止，則機器人逆時針原地旋轉90°後，跨下和室台階；若右側感測器觸發停止，則機器人順時針原地旋轉90°後，跨下和室台階。

## 5. 原型機之製作與測試

### 5.1. 原型機機構

本研究所研發之具備全域自動清掃智慧幫傭機器人，係針對一般居家室內的空間清掃所設計，除具有清掃及吸塵功用外，更具有跨越和室的能力，因此適用於一般家庭尤其是具有和室或高架地板的環境清掃，所具有的跨越功能高度在10cm以下的和室台階或高架地板，並不適於一般建築物樓梯連續攀爬之用。實體的外型尺寸為360mm長x320mm寬x154mm高，其機構配置為：A.前端為走行驅動機構，包含兩側邊輪臂轉輪(內側大輪)；B.後端則為輪臂舉升的機構，及跨越用之支撐輪(外側小輪)；C.中間清潔單元，包含吸塵器及吸塵器底下設置的清潔毛刷；D.感測模組，由紅外線感測器所構成，共分有前端、兩側邊及高度感測三個模組。原型機實體如圖十五所示。

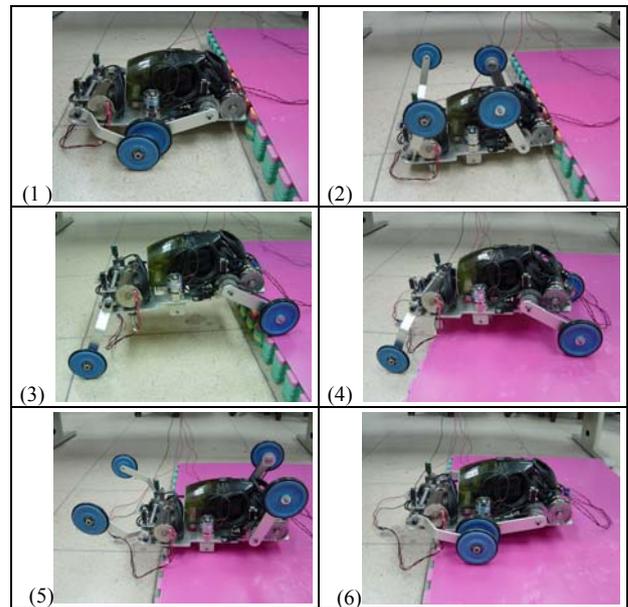


圖十五 具跨越功能清掃機器人的機構原型

### 5.2. 舉臂跨越的測試

當遇和室台階，欲進入和室清掃時，清掃機器人將展開前、後輪臂，跨上台階，整個測試結果如圖十六所示。所測試的台階高度約7cm，為一般家庭和室的高度。首先藉由前方的紅外線偵測可跨越台階，並藉由前端兩側的觸控開關確保機器人正對於台階，準備開始跨越台階。之後展開輪臂，將前輪搭上台階，並將機身頂起，前進直到機身後方底部的支撐萬向輪越過台階，接下來收合輪臂，回復初始姿態前進。實驗結果驗證本機器人之跨越功能，但由於轉輪的傳動機構設置於前端，造成輪臂的支點往後移，因而縮短了輪臂的長度，跨越時必須靠進台階處，輪臂才能搭

上台階，因此，往後的設計應再考量傳動機構的設置，以免影響跨越的功能。



圖十六 舉臂跨越測試照片

## 6. 結論

本研究的目的是為設計製作一具備全域自動清掃的機器人，並探討清掃策略以及感測障礙的控制架構，以提升清掃效率。所提出的創新機構能跨越台階障礙，使清掃空間不受和室與門檻的限制。所設計的跨越機構，藉由輪臂的展開與收合，使得清掃機器人能登上和室台階或跨越門檻障礙而進入房間清掃，讓目前市面上廣受歡迎的居家用清掃機器人能更加完善，適於亞洲地區的居家環境。提昇智慧型機器人產業的價值與市場規模。

## 7. 參考文獻

- [1]. [http://www.irobotstore.nl/index.php?main\\_page=household\\_robots\\_robots&dir=home](http://www.irobotstore.nl/index.php?main_page=household_robots_robots&dir=home)
- [2]. <http://www.electrolux.com.tw/showroom.php>
- [3]. <http://papago.twcom.net/>
- [4]. Yu, J. and Waldron, K. J., (1991), "Design of Wheeled Actively Articulated Vehicle." *Proceedings of the 2nd National Applied Mechanism and Robotics Conference*, Cincinnati, OH, USA, Vol. 1, VIB.1-1~VIB.1-6.
- [5]. Yu, J., Liao J. W.-C., Li, M.-Y., and Li, S.-H., (2003) "Design and Motion Simulation of the Autonomous Exploration Vehicle", *Proceedings of the 7th International Conference on Automation Technology*, Sept. 12-14, Chia-Yi, Taiwan.
- [6]. Volpe, R., Balam, J. Ohm, T., and Ivlev, R., (1997), "Rock 7: a next generation rover prototype", *Advanced Robotics*, Vol. 11, No. 4, pp. 341-358.

- [7]. Estier, T., Crausazl, Y., Merminod, B., Lauria, M., Piguet, R. and Siegwart, R., (2000), "An Innovative Space Rover with Extended Climbing Abilities", Institute of Robotic Systems, EPFL (Swiss Federal Institute of Technology Lausanne), Switzerland.
- [8]. Wiesspeiner, G. and Windischbacher, E., (1995), "Distributed Intelligence to Control a Stair-Climbing Wheelchair", *IEEE-EMBC and CMBC Theme 5: Neuromuscular Systems/Biomechanics*, pp 1173-1174
- [9]. Yuan, J. and Hirose, S., (2005), "Actualization of Safe and Stable Stair Climbing and Three-Dimensional Locomotion for Wheelchair", *Intelligent Robots and Systems, IEEE/RSJ International Conference*, pp 1538-1543,
- [10]. Takita, Y., Shimoi, N. and Date, H., (2004), "Development of a Wheeled Mobile Robot "Octal Wheel" Realized Climbing up and Down Stairs", *Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan*, pp 2440-2445
- [11]. <http://www.irobot.com/sp.cfm?pageid=140>
- [12]. [http://www.army-technology.com/contractors/mine/ab\\_precision/](http://www.army-technology.com/contractors/mine/ab_precision/)
- [13]. Oh, Y. J. and Watanabe, Y., (2002), "Development of Small Robot for Home Floor Cleaning", Aug. 5-7, *SICE*, pp 3222-3223
- [14]. Palacin, J., Lasa, X., Marco, S., (2003), "Straight-Line Path Following in Cleaning Robots Using Lateral Ultrasonic Sensors", *IMTC 2003 - Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Jail, CO, USA, pp 1484-1487
- [15]. 余志成、林燁敏，(2007)，"具攀爬功能的移動式清潔器" 中華民國專利申請審查中，申請案號 96101454。
- [16]. 林燁敏、余志成，"居家清掃機器人全域清掃路徑的規劃研究"，中國機械工程學會第二十四屆全國學術研討會論文集，中原大學，桃園、中壢，2007/11/23~11/24。
- [17]. 林燁敏，(2007)，"自主性具跨越功能之輪型居家清掃機器人的研發"，碩士論文，國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系。
- [18]. YU, J. and Hsu, M., (2006), "An Application of Panoramic Camera to the Positioning and the Path Planning of An Automated Navigated Vehicle", 國立高雄第一科大工學院年教師研發成果研討會，2006/3，國立高雄第一科技大學。