

家用樓梯除塵機器人之設計

劉昭忠¹ 劉昭恕² 許竣傑³ 張宇丞⁴ 呂佑安⁵ 程冠儒⁶

¹ 中州技術學院 電機工程系

² 國立高雄應用科技大學 機械工程系

^{3,4,5,6} 中州技術學院 電機工程系(四技)

摘要

「家用樓梯除塵機器人」之設計，即利用傳動機構和除塵裝置的配合，達到清掃樓梯的目的。在傳動機構部分，由動力輪、支撐滑座和線性致動器完成上下樓梯和橫向清掃等動作，並在機構周圍裝置感測器，避免上下樓梯時，機體撞擊壁面或懸空而掉落樓梯，而所有動作皆由單晶片微處理機控制完成。至於除塵裝置部分，有調整吸塵器至樓梯階面高度的活動式支撐架，和清掃樓梯階面的可變式吸塵器。並配合無線遙控，提供「上樓梯」、「下樓梯」和「全自動（上下樓梯）」等三種除塵模式，藉以提高室內清潔之便利性和安全性。

關鍵詞：樓梯、除塵、機器人

通訊作者

姓名：劉昭忠

E-mail：c00jcl00@dragon.ccut.edu.tw



壹、前言

在生活忙碌的工商社會，人們回家已疲累不堪，絕不想做室內清潔工作，因此，清潔機器人乃順勢而生。依照 IFR World Robotic 的分類，清潔機器人可分為產業型與家用型兩大類。在產業型方面，例如：地板清潔（吸塵與洗地）、風管空調系統清潔、除草、大樓窗戶清洗、水箱清潔等。迄今，應用最成功的仍屬地板清潔型機器人。而家用型的地板清潔機器人（吸塵器）近年來則快速竄起，成為市場主流產品，目前市面上的清掃機器人如美國「Roomba」、瑞典「Trilobite」及國內的「TRV-10 趴趴走機器人吸塵器」等（林尚揚、陳善本、李成桐，2000），則以扁平的外形和具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（余志成、林燁敏、張書榮，2007）（林燁敏、余志成，2007），完成居家環境的清潔工作。雖然這類打掃型機器人能自行移動並且清掃，但侷限於平面上的移動，遇到樓梯之處，還是以人力清理，並未達到全面自動化的清潔效果。有鑑於此，乃應用傳動機構的移動和吸塵裝置的功能，整合而成「家用樓梯除塵機器人」的設計。

貳、研究方法

「家用樓梯除塵機器人」的規格採用樓梯二階式設計（圖 1），第一階為傳動機構，用於上下樓梯和橫向清掃的動作，第二階為吸塵裝置，用於清潔樓梯階面。主要元件有單晶片微處理機、感測器、動力輪、支撐滑座、線性致動器、活動式支撐架和可變式吸塵器等（表 1）（楊旺枝，2005）（朱世強、王宣銀，2001）。機器人的相關動作則由單晶片微處理機的程式設計來控制完成（西格沃特、諾巴克什，2006）。

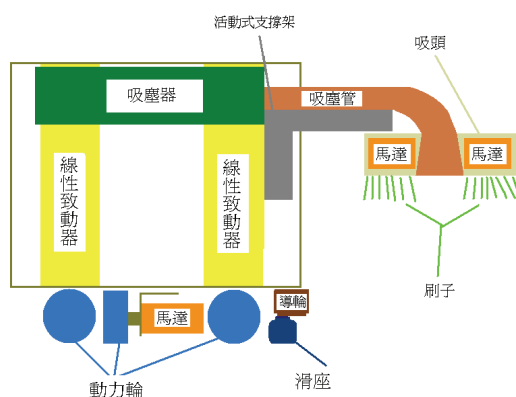


圖 1 設計示意圖



項目	規格	數量
無線遙控模組	2V~12V	1
遙控器	5V	1
紅外線感測器	2.7V~6.2V	6
馬達	12V	9
馬達驅動器	20 V 以內	2
線性致動器	12 V	2
吸塵器	12V 50W	2
刷子		4
支撐滑座		2

表 1 主要元件規格表

為了讓機器人製作能順利完成，在製作過程分成(一)電路設計，(二)除塵裝置，(三)傳動機構等三項製作測試，待製作完成後，將三項整合測試。

一、電路設計

主要的電路設計(圖 2)可分成單晶片微處理機電路、穩壓電源電路、馬達驅動電路、感測器電路、無線遙控電路，敘述如下：

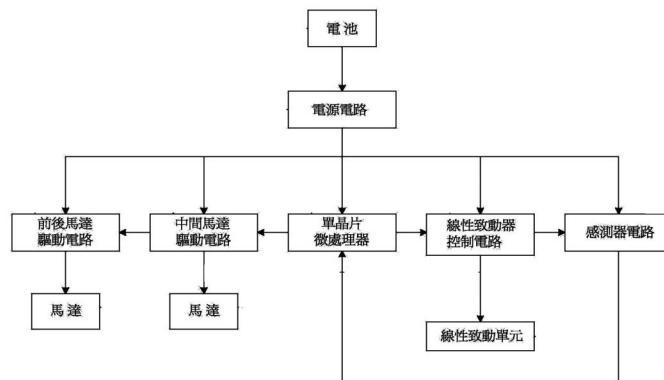


圖 2 電路控制圖

1. 單晶片微處理機(徐德, 2008)(卓聖鵬, 2000)(張培仁、張志堅、鄭旭東、張華賓, 2006)(王允上, 2007)(余文華、黃建閔、陳志逢、黃政璋, 1996)

單晶片微處理機是機器人的心臟及頭腦，目前市面上的單晶片微控制器種類繁多，一般分為複雜指令集(Complex Instruction Set Computer: CISC)與精簡指令集(Reduced Instruction Set Computer: RISC)兩大類，其中的差異就在前者所具有的功能比較強大，因此在處理工作上也較多，而後者則是因內部線路結構較為簡單，相對執行指令的速度也會比前者來的快，但因為可使用的指令減少，所以在寫程式時會比較複雜，同樣一件



工作使用的行數與指令就會比較多。在此，基於需求，將選取為 89C51 單晶片(圖 3)，作為控制整體動作之核心。

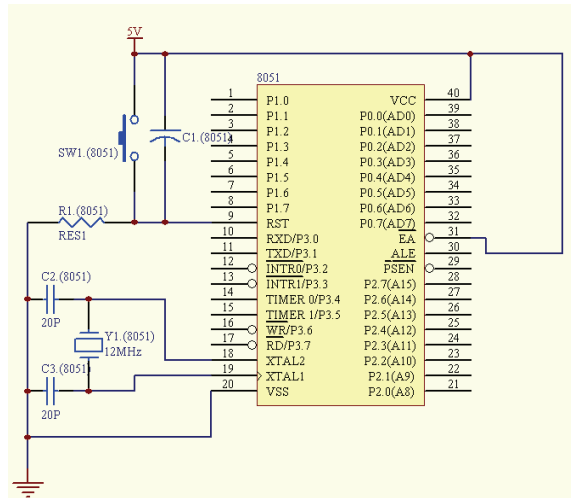


圖 3 89C51 電路圖

2. 穩壓電源電路 (郭俊良、王培士，1981) (余文華、黃建閔、陳志逢、黃政璋，1996)

使用 LM317 穩壓 IC，從(圖 4)穩壓電路圖可知，經由電阻 R1 和 R2 之設定，可獲得定值之輸出電流，且可保護短路、過電流和過熱。

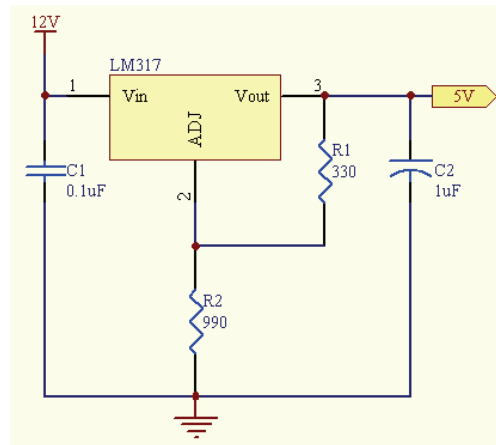


圖 4 穩壓電路圖

3. 馬達驅動電路 (谷腰欣司，1989) (王金標，1989) (單景德，1990) (余文華、黃建閔、陳志逢、黃政璋，1996)

使用 ST 的 VNH3SP30 晶片所設計的馬達驅動電路(圖 5)，其特色尺寸精小，包括電流上升(pull-up)，電流限制以及 FET 電池反向保護等功能，共使用 2 組電路分別控制動力輪之前進與左右移動，達到機體移動的目的。



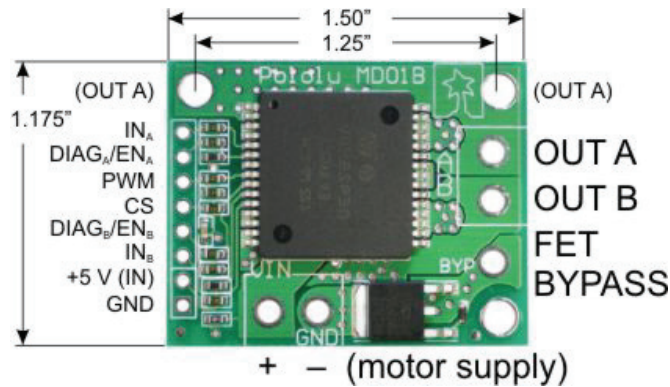


圖 5 行進馬達驅動器外觀與接腳

4. 感測器 (徐德, 2008) (余文華、黃建閔、陳志逢、黃政璋, 1996)

感測器主要用於機體與樓梯前壁和機體與樓梯兩側之感測。由於在樓梯上必須判斷機體是否會撞上前壁，而樓梯兩側是否有牆壁阻擋也不確定，因此，為了克服機體感測問題，在機體與樓梯前壁碰撞面，裝置一組紅外線感測器，藉由距離測定，判斷機體停在階梯的位置，而左右兩側，因有無牆壁之狀態不同，所以在左右兩側下方各裝置一組紅外線感測器，經由距離測定，判斷是否有牆壁或懸空，感測器電路圖如圖 6。

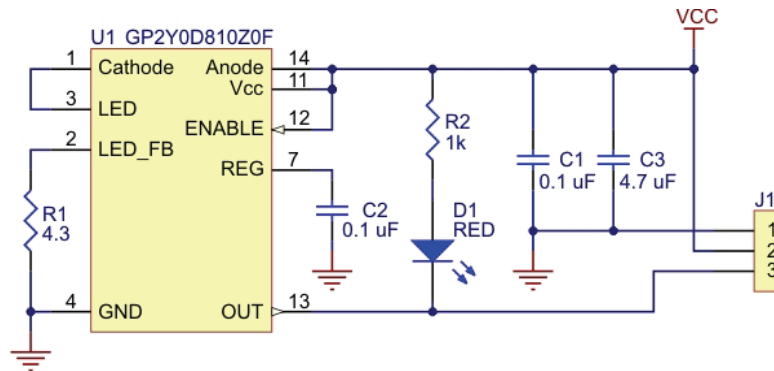


圖 6 感測器電路圖(J1 第 3 支腳是紅外線訊號 OUT)

5. 無線遙控電路 (楊旺枝, 2005) (西格沃特、諾巴克什, 2006) (Gordon McComb, Myke Predko, 2008)

無線遙控電路是以操作「上樓梯」、「下樓梯」和「全自動(上下樓梯)」等三種傳動模式為主要目的，且不必近距離啟動，讓機體可以更人性化，其中無線遙控電路使用 SHY-J6122TR 模組來製作電路(圖 7)。



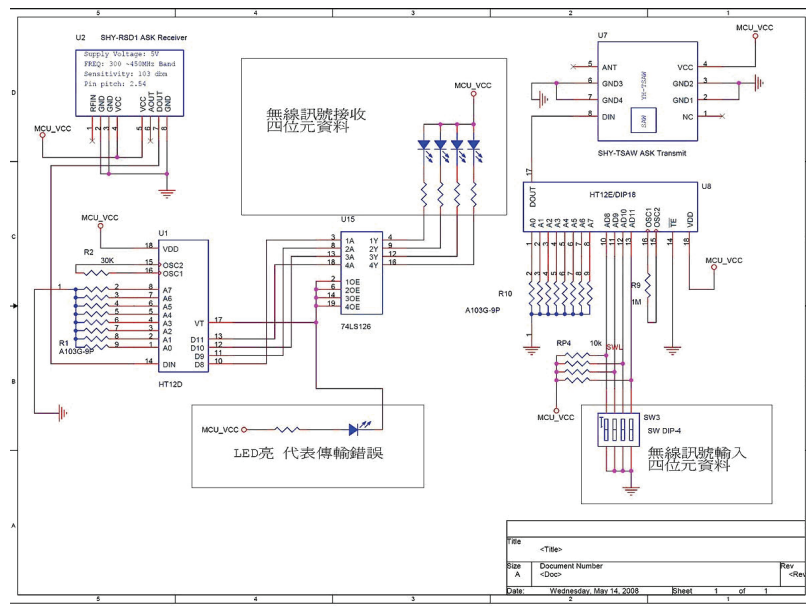


圖 7 無線遙控電路

二、吸塵裝置

1. 可變式吸塵器 (單景德, 1990) (李宗良、林永立, 1981)

一般而言，吸塵器的馬達高速運轉時，在內部產生負壓，將灰塵、細小垃圾等物質經由吸塵管，到達集塵區，達成吸取灰塵的目的。吸塵器的馬力數越大，吸力當然就越強。目前，皆採用直流電源，電壓皆在 12-24V 之間。為了能順利清理樓梯階面，先將吸塵器的毛刷調整至樓梯階面的大小。執行動作時，吸口內的兩個電動毛刷往內旋轉，有利於收集灰塵，達到清掃的目的(圖 8)。製作完成的可變式吸塵器的伸縮長度由 25 公分至 30 公分，可適用不同樓梯階面大小。

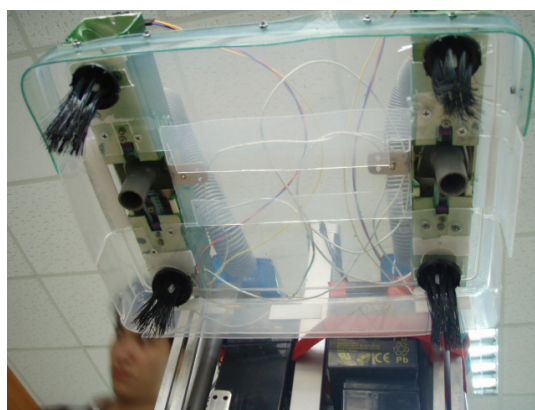


圖 8 可變式吸塵口實體圖

2. 活動式支撐架 (楊廷力, 2004) (李宗良、林永立, 1981)

由於每棟建築物樓梯的高度不一，為了適用於不同高度的階梯，製作完成的活動式支撐架的高度可由 15 公分升高 22 公分。再啟動之前，先調整支撐架高低，並把吸口調



至適當高度，吸收灰塵 (圖 9)。

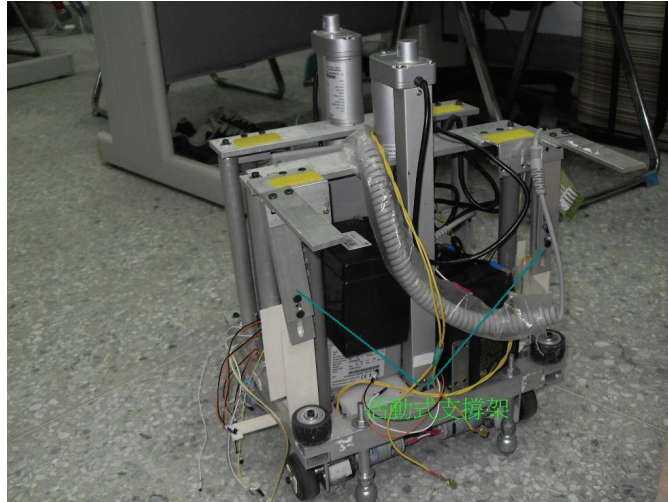


圖 9 活動式支撐架實體圖

三、傳動機構 (劉極峰, 2006) (晉茂林, 2000) (日本機器人學會, 2004) (李宗良、林永立, 1981) (江宗勳、李欣翰、江振宏、黃啟郎, 1998) (余文華、黃建閔、陳志逢、黃政璋, 1996)

傳動機構分為升降、前進移動和左右移動三項動作。為了讓機器人可以在有高度的樓梯上下移動，機體本身具有上下伸縮裝置，需要二支線性致動器(圖 10a-c)來完成。在上下樓梯時，機體必須藉由二支滑座的支撐，穩定機體，以免機體掉落樓梯。至於機體上樓梯的前進和下樓梯的後退，則使用兩側總共四個動力輪來完成。而樓梯階面的清理，則藉由底盤中間的一個動力輪左右移動來完成吸塵動作(圖 11)。



圖 10a 線性致動器實體圖



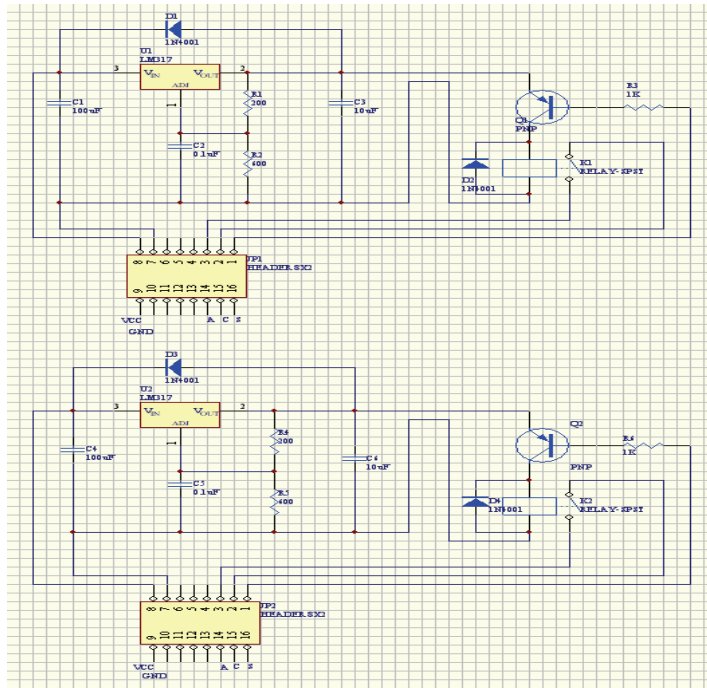


圖 10b 線性致動器控制電路圖

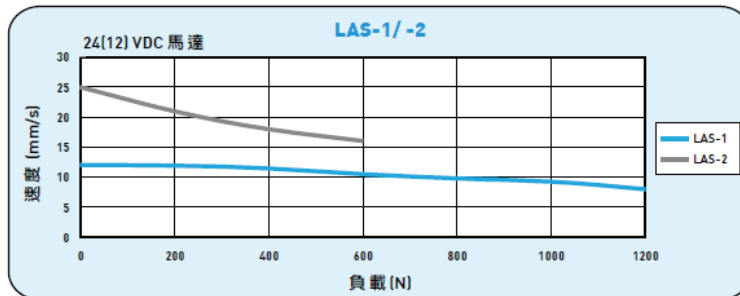


圖 10c 線性致動器負載圖

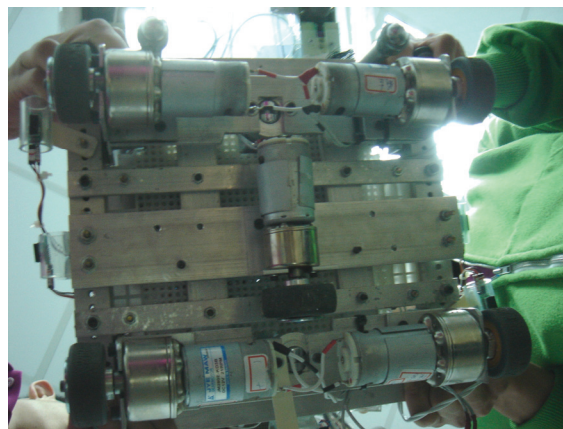


圖 11 傳動機構底盤圖



最後，將 (A) 電路設計、(B) 除塵裝置和 (C) 傳動機構等三項整合後之作品如圖 12。

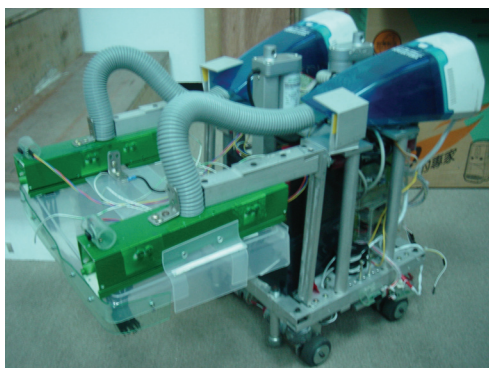


圖 12 家用樓梯除塵機器人之實品圖

參、研究結果與討論

「家用樓梯除塵機器人」的規格以一般家用樓梯尺寸為標準進行製作 (圖 13)，重量為 25.4 公斤，並將他用於自製家用尺寸四階樓梯進行(一)橫向清掃測試，(二)上樓梯測試，(三)下樓梯測試。

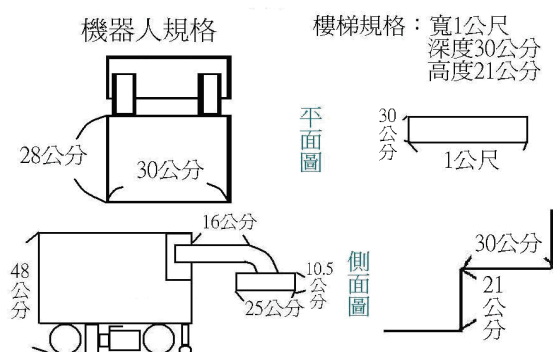


圖 13 家用樓梯和機器人尺寸圖

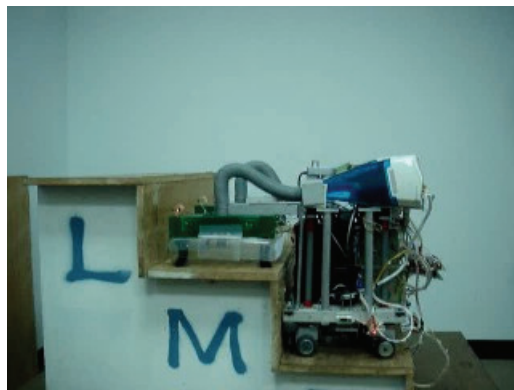
一、橫向清掃測試

本機器人為自動方式進行清潔，先依樓梯的高度和梯面寬度調整吸塵器高度和寬度，開啟吸塵器和轉動毛刷，將灰塵掃入吸口。當機器人感測機體靠近樓梯壁面時，往前四個動力輪會自動前進貼齊樓梯壁面，前端的兩隻支撐滑座長度稍短，並未接觸地面，中間動力輪的推力只需克服機體與階面的摩擦力而進行左右移動，讓吸塵器藉此得以左右清理樓梯。經由量測結果得知，在樓梯三個階面橫向一次清掃時間分別為 32 秒、34 秒和 31 秒。雖然在測試過程中，中間動力輪的左右移動方向會有些許差異，但藉由前端導輪裝置以減少機體與壁面摩擦阻力，所以三次清掃的量測時間相近。為了防止機器人左右移動清理樓梯之時，撞擊牆壁或是掉下樓梯，乃利用感測器裝置的偵測，來預防上述兩種情況的發生(圖 14a-c)。

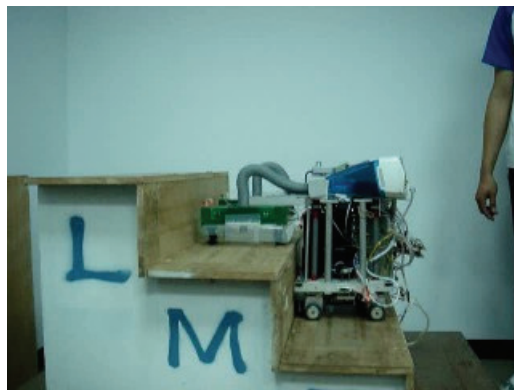




(a)



(b)



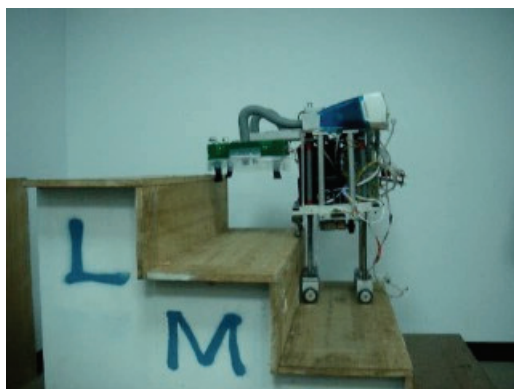
(c)

圖 14 家用樓梯除塵機器人左右移動清理圖

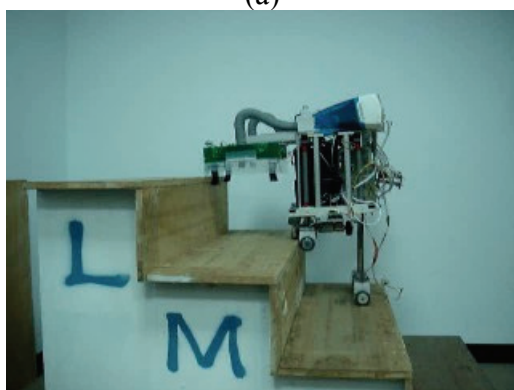
二、上樓梯測試

要向上爬一階梯時，馬達讓機體前進貼齊壁面，利用線性致動器將機體升高，當機體比樓梯高時再前進，使兩隻支撐滑座在樓梯上支撐，然後前排輪子收回，再將後排動力輪往前移動至中間動力輪上階梯，再利用幾何原理三點成一平面的中間動力輪撐住機體，當後輪接近壁面時收起後輪繼續往前，讓機器人達到爬梯目的，如此重複動作，達成上樓梯的效果，如圖 15a-d。在此，量測機體三次上樓梯時間分別為 34 秒、36 秒和 35 秒，顯示設計機體上樓梯的動作相當穩定。

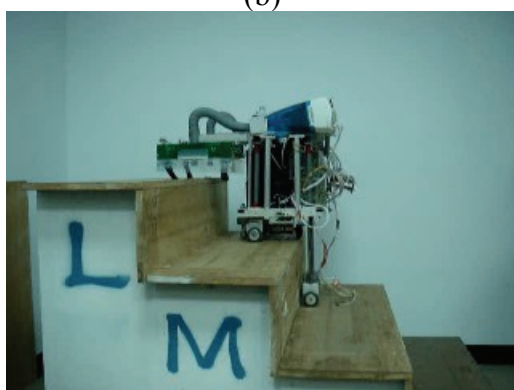




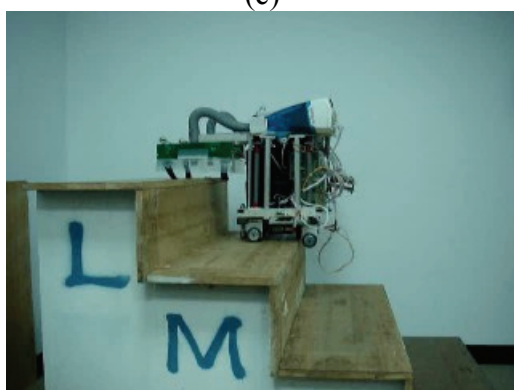
(a)



(b)



(c)



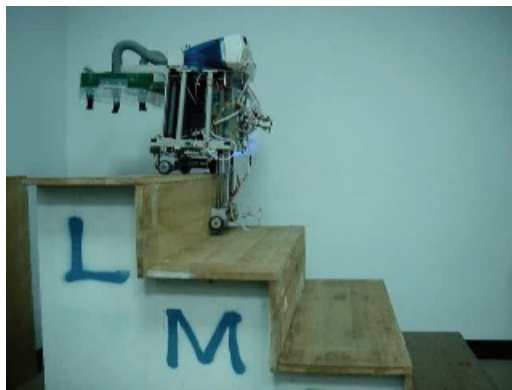
(d)

圖 15 家用樓梯除塵機器人上樓梯之圖

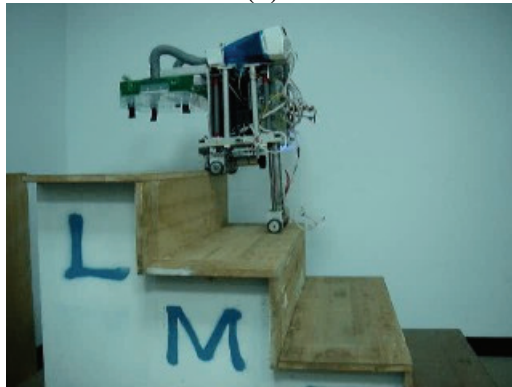


三、下樓梯測試

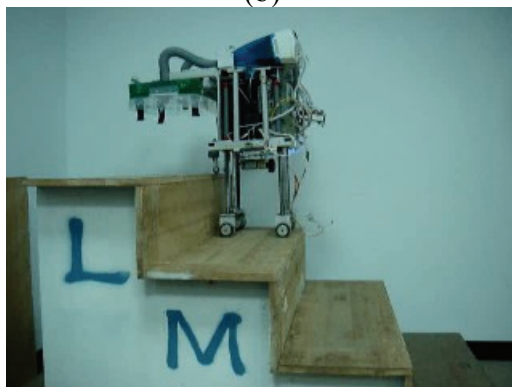
下樓梯清掃時，則是先由前方感測器感測前方是否有樓梯壁面，若無，則機體停止上樓而開始準備下樓。首先，後方感測器感測後方是否為懸空，以確認往下樓梯，再以線性致動器讓機體抬升中間動力輪高度，並讓機體後退至後輪懸空，此時，將後輪下降與下階樓梯相同高度，再讓機體繼續往後使前輪懸空，因機體前方有兩隻支撐滑座，所以前輪懸空時，利用後輪和滑座支撐，故可保持機體不會掉落，再將前輪下降至與下階樓梯相同高度，最後，讓機體後退至滑座離開上一階階梯，收起線性致動器，即達到下樓梯之目的，如圖 16a-d。在此，量測機體三次下樓梯時間分別為 35 秒、34 秒和 35 秒，與機體上樓梯時間相近。



(a)

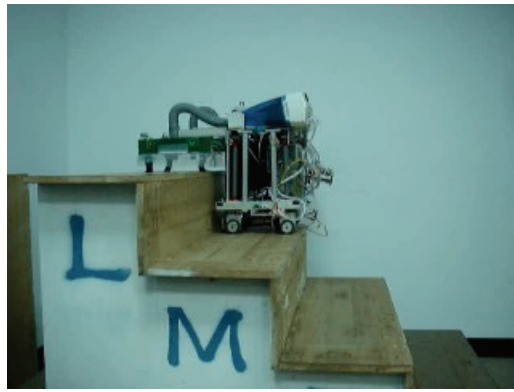


(b)



(c)





(d)

圖 16 家用樓梯除塵機器人下樓梯之圖

藉由上述三種測試，機器人已能完成上下樓梯和橫向清掃等動作。為了使機器人能自動完成整個清掃樓梯過程，再加上機體裝設了無線遙控裝置，因此，單晶片微處理機內的程式撰寫包含了「上樓梯」、「下樓梯」和「全自動（上下樓梯）」等三種除塵模式，來配合無線遙控操作，其程式流程圖見圖 17。

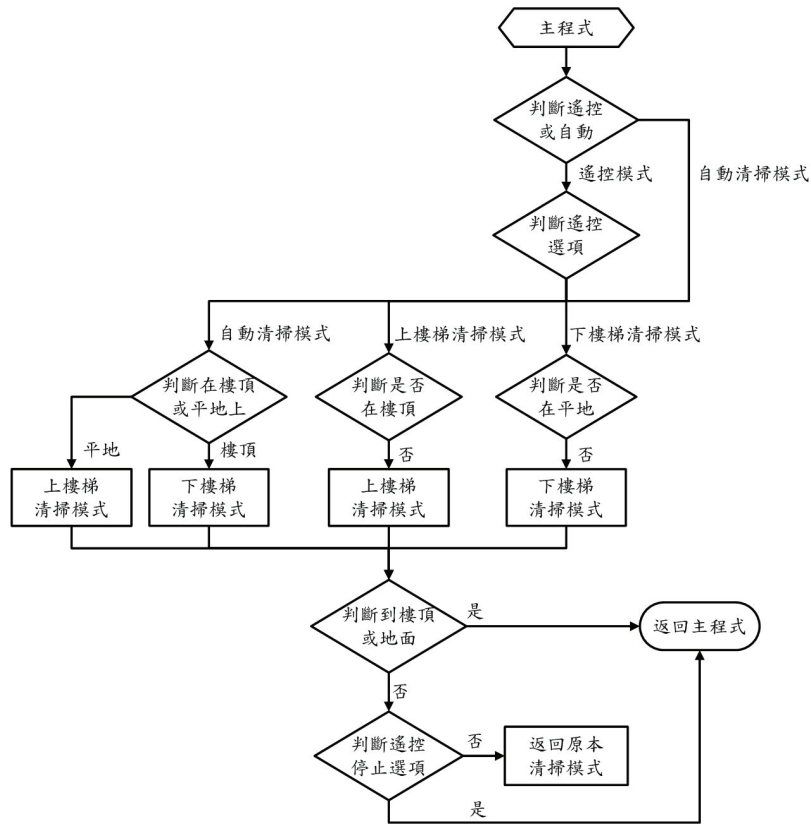


圖 17 程式撰寫流程圖



肆、結論與建議

經由各個元件的測試和整合，「家用樓梯除塵機器人」已完成實品製作，成功地完成清理樓梯、上樓梯和下樓梯等功能，並藉由無線遙控器的操作，可選擇「上樓梯」、「下樓梯」或「全自動（上下樓梯）」三種清掃模式。但仍有不足之處，首先，上下樓梯清理時間過長，傳動機構仍有改善空間，其次，除塵裝置的吸塵器並非親自製作，而是為了配合機體大小，選擇市面上的車用吸塵器，所以吸塵效率無法在此說明，相信若有更小、更有力的吸塵器搭配，將有更好的除塵效果。



參考文獻

- 余志成、林燁敏、張書榮(2007)。自主性具跨越功能之輪型居家清掃機器人的研發。載於國立高雄第一科技大學(頁1-8)，高雄市。
- 林燁敏、余志成(2007)。居家清掃機器人全域清掃路徑的規劃研究。載於臺灣博碩士論文知識加值系統(頁1-8)，高雄市。
- 楊旺枝(2005)。機器人DIY。新北市：全華科技圖書出版社。
- 朱世強、王宣銀(1999)。機器人技術及其應用。杭州：浙江大學出版社。
- 李人厚(譯)(2006)。西格沃特·諾巴克什著。自主移動機器人導論。西安市：西安交通大學書版社。
- 劉極峰(2006)。機器人技術基礎。臺北市：高等教育。
- Gordon McComb, Myke Predko(2008)。機器人設計與實現。北京市：科學出版社。
- 楊廷力(2004)。機器人機構拓撲結構學。北京市：機械工業出版社。
- 徐德(2008)。室內移動式服務機器人的感知、定位與控制。北京市：科學出版社。
- 晉茂林(2000)。機器人學。臺北市：五南圖書出版公司。
- 林尚揚 陳善本 李成桐(2000)。焊接機器人及其應用。北京市：機械工業出版社。
- 卓聖鵬(2000)。機器人控制。新北市：全華科技圖書出版社。
- 張培仁、張志堅、鄭旭東、張華賓(1996年10月)。基於16/32為DSP機器人控制系統設計與實現。北京市：清華大學出版社。
- 王允上(1997年2月)。機器人單晶片微電腦控制。新北市：全華科技圖書出版社。
- 辰白(譯)(1989年1月)。谷腰欣司著。馬達驅動電路技術。新北市：建興出版社。
- 王金標(1989年2月)。電動機控制-馬達驅動器理論及實作。新北市：全威圖書有限公司。
- 日本機器人學會(1997年10月)。機器人技術手冊。北京市：科學出版社。
- 許溢適(1981年8月)。感測器的使用法與電路設計。台北市：全華科技圖書出版社。
- 維基百科 - 電動機 取自 <http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E7%94%B5%E5%8A%A8%E6%9C%BA&variant=zh-tw>
- 單景德(1990年1月)。真空吸取器設計及應用技術。北京市：國防工業出版社。
- 郭俊良、王培士(1978年5月)。機器人的機構與控制。台北市：全華出版社。
- 李宗良、林永立(1981年7月)。現代機構百科(上)(下)。台北市：全華圖書股份有限公司。
- 江宗勳、李欣翰、江振宏、黃啟郎(1998)。創意思考競賽。載於中州技術學院專題製作(頁5-64)，彰化縣。
- 余文華、黃建閔、陳志逢、黃政璋(1996)。創意思考競賽。載於中州技術學院專題製作(頁5-58)，彰化縣。



Design of Domestic Stair Cleaning Robot

CHAO-CHUNG LIU^{1*}, CHAO-SHU LIU², JYUN-JIE SYU³, YU-CHENG
JHANG⁴, YOU-AN LYU⁵, GUAN-RU CHENG⁶

1,3,4,5,6 Department of Electrical Engineering , Chung Chou Institute of
Technology

2 Departement of Mechanical Engineering , National Kaohsiung University of
Applied Sciences

Abstract

Cleaning robot is a popular tool about home cleaning now. But, they can not achieve the objective of a comprehensive clean indoor because their movement is limited to the ground plane, and can not climb indoor stairs. A new concept is designed to Domestic stair-climbing cleaning robot by integrating mechanical transmission and vacuum cleaner in order to clean indoor stair. Domestic stair-climbing cleaning robot has three kinds of friendly function including climbed up modes, climbed down modes, and automatic mode. As human turn on the switch, robot can step by step clean until next floor.

Keywords : Stair 、 Cleaning 、 Robot

