

居家樓梯清潔機器人之設計

劉昭忠*¹ 劉源昌² 賴永進³ 程冠儒⁴

^{1,2,3} 中州科技大學 電機與能源科技系

⁴ 中州科技大學 工程技術研究所(研究生)

摘 要

「居家清潔機器人」即利用傳動機構和除塵裝置的配合，達到室內清掃的目的。在傳動機構部分，由動力輪、齒輪和鏈條合成的轉向機構，支撐滑座和線性致動器組成的升降機構，以完成橫向清掃和上下樓梯等動作，並在機體周圍裝置感測器，避免在清掃地板撞擊障礙物，及上下樓梯機體撞擊壁面或懸空而掉落樓梯。至於除塵部分，有調整樓梯階面高度的「自動式支撐架」，和清掃樓梯階面的「自動式吸塵口」等裝置。藉由單晶片微處理機來控制傳動機構和除塵裝置的相關動作。機器人完成後，設置無線遙控裝置，達到一般機器人所沒有的「平面清掃」、「上樓梯清掃」、「下樓梯清掃」和「全自動清掃（上下樓梯）」等四種操作模式。若進一步將除塵裝置拆除，將可轉化成為搬運貨物的「搬運機器人」，藉以提高機器人的功能性和實用性。

關鍵詞：居家、樓梯、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。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[1]，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[2,3]，完成居家環境的清潔工作。市售機台僅能達到平面清潔功能，無法達到全面清潔效果，遇到樓梯之處，還是以人力清理，並未達到室內全面清潔的效果。

有鑑於此，本團隊先前製做的「家用樓梯除塵機器人：第一代機器人」(圖 1)[4]，已突破清潔平面的限制，具有「上樓梯」、「下樓梯」和「全自動(上下樓梯)」等三種清掃模式。但此機器人只能清掃樓梯，不能清掃地板，且在傳動機構設計(圖 2)中，只利用一個中間動力輪來左右移動進行清掃，造成清掃速度緩慢，而遇到不同的樓梯高度或階面，仍須以人工方式調整除塵裝置，並未達到機器人全自動化的目的。

因此，本論文即利用「家用樓梯除塵機器人」原有的升降機構，重新設計「轉向機構」、「自動式支撐架」和「自動式吸塵口」等裝置，藉以增加清掃速度，自動調整樓梯階面高度及寬度的清潔功能，並應用於清掃地板，使其擁有「平面清掃」、「上樓梯清掃」、「下樓梯清掃」和「全自動清掃(上下樓梯)」等四種模式，達到室內全面性的清潔效果。若進一步將除塵裝置拆除，將可轉化成為搬運貨物的「搬運機器人」，藉以提高機器人的功能性和實用性。



圖 1 家用樓梯除塵機器人實品圖

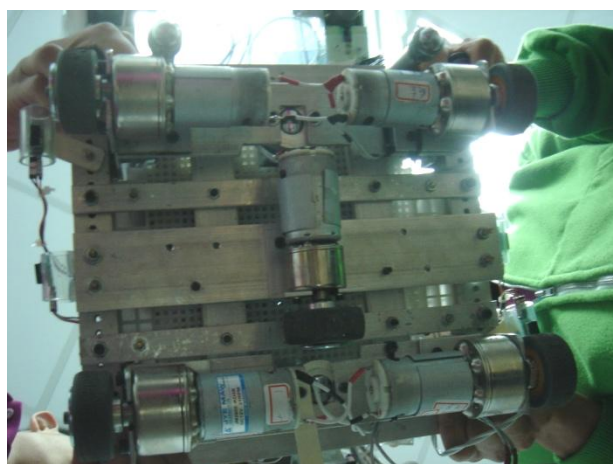


圖 2 家用樓梯除塵機器人傳動機構底盤圖

貳、研究方法

「居家樓梯清潔機器人」的規格採用樓梯二階式設計(圖 3a)，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、自動式支撐架和自動式吸塵口等(表 1)。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。

傳動機構在平面清掃時，利用動力輪的前進和轉向機構達成平面清掃路徑。在上下樓梯[5,6]所需要的機體升降及前後移動，則利用二支線性致動器讓機體升降，並靠著滑座支撐，達到了上下樓梯的整體動作。為了清潔樓梯階面，機體所需的左右移動，藉著轉向機構來完成樓梯清潔能力。至於清潔裝置，乃利用自動式吸塵口的移動吸口來加強清掃效果。對於清理地板或樓梯階面的高度調整，則利用自動式支撐架來完成。並透過遙控開關的簡便操作，使機器人具有平面清掃、上樓梯清掃、下樓梯清掃、和全自動清掃(上下樓梯)等四種模式。

當使用者將除塵裝置拆除，裝上搬運貨籃，機器人將藉由遙控開關的操作，上下樓梯和在平地搬運物品(圖 3b)。

在此，將分成(一)電路設計，(二)除塵裝置，(三)傳動機構等三項的製作測試，待製作測試完成後，將三項整合測試。

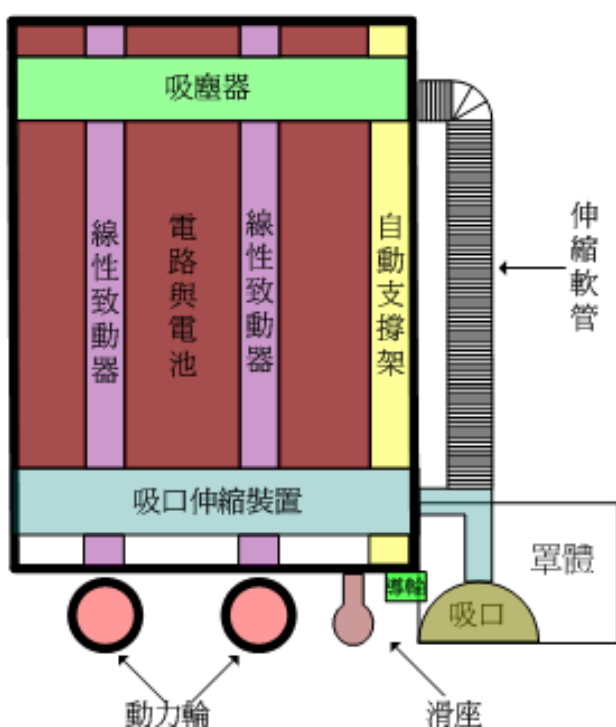


圖 3a 整體架構圖

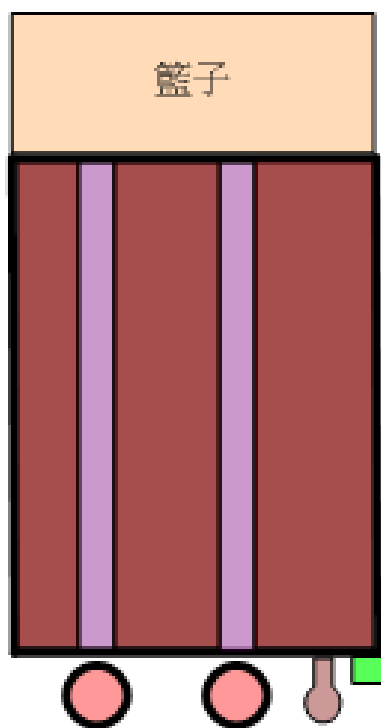


圖 3b 搬運機構圖

表 1 主要元件規格

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	11
馬達	12V 5W	10
馬達驅動器	20 V 以內	5
線性致動器	12 V 72W	2
吸塵器	12V 50W	2
支撐滑座	4.5 cm	4

一、電路設計

本機器人之電路設計如(圖 4)，主要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：

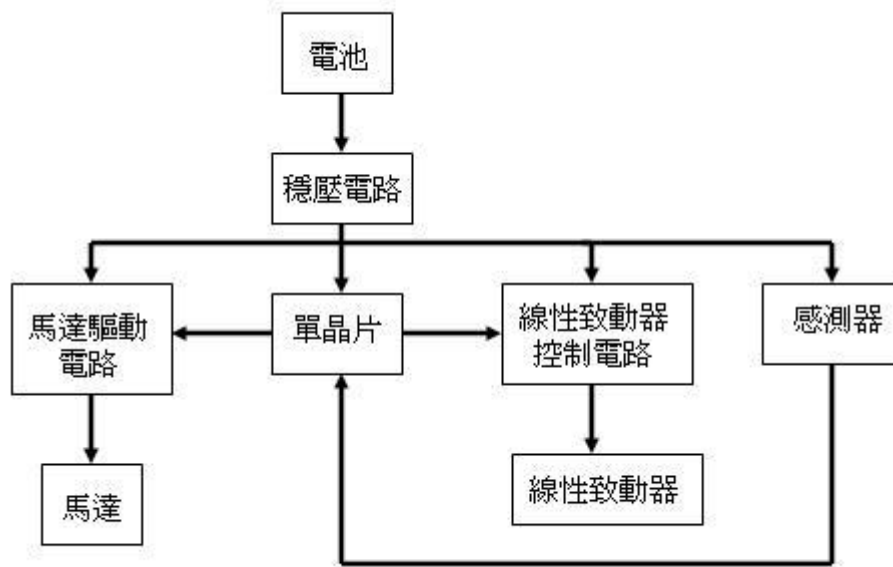


圖 4 電路控制圖



(一)單晶片微處理機[7-10]

單晶片微處理機可說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，故選擇 89S51 當作機器人的核心。然而，由於機體動作需求，在腳位使用上，比第一代的機器人用的更多，所以選 8155 單晶片，作為擴充電路的晶片，電路如(圖 5)。

(二)穩壓電源電路[11]

使用 7805 穩壓 IC，從(圖 6)穩壓電路圖可知，可獲得定值之輸出電流，且可保護短路、過電流和過熱。

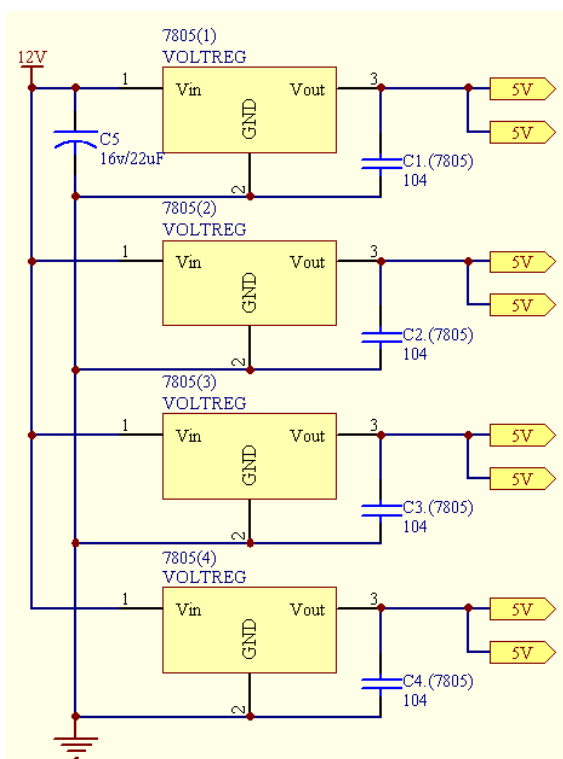


圖 5 89C51 擴充電路圖

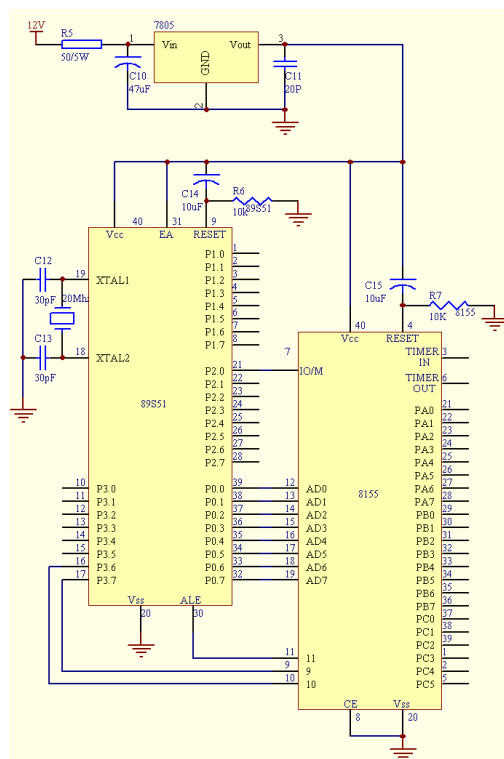


圖 6 穩壓電路圖

(三)馬達驅動電路[12,13]

使用 ST 的 VNH3SP30 晶片所設計的馬達驅動電路(圖 7)，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 3 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。

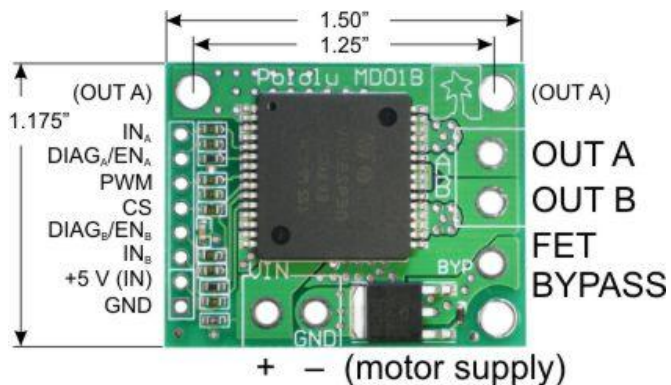


圖 7 行進馬達驅動器外觀與接腳

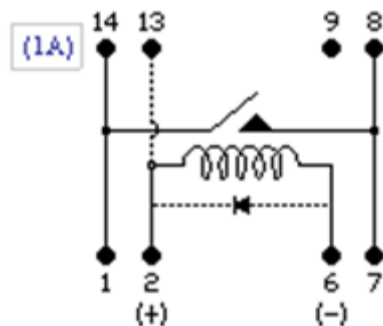


圖 8 EDR 201a0500

(四)線性致動器控制電路

此電路最主要讓 89S51 能訊號直接驅動線性致動器，所以利用了電晶體 9013 以及 IC 型繼電器(圖 8)，讓 89S51 直接以訊號作電路觸發，控制線性致動器使其作動，以便達到升降機體的動作。整體電路如(圖 9)。

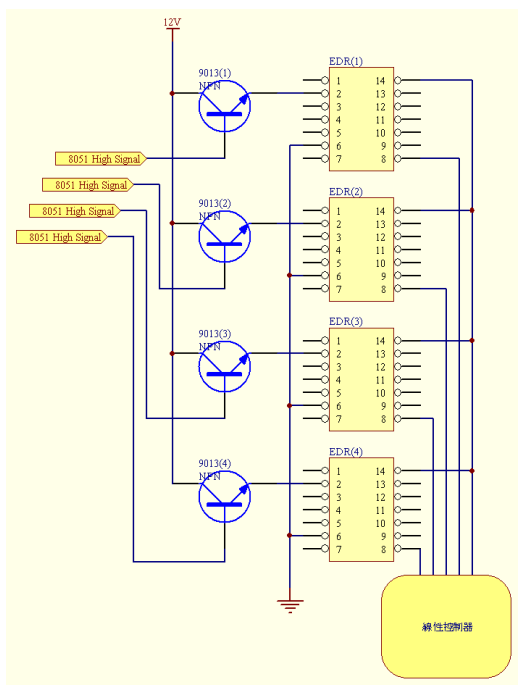


圖 9 線性致動器控制電路圖



(五)紅外線感測器[7,14]

主要目的係用於障礙判斷，位於機體後方有 2 組感測器，1 組是用於平面清掃後方有無障礙物，另 1 組位在後下方，是用於偵測上下樓梯時，機體是否屬於懸空狀態，左、右兩側分別各有 1 組感測器，用於上下樓梯與平面清掃時，偵測左、右方是否有障礙物，左上、右下方同樣分別各有 1 組感測器，用於判斷樓梯左右移動時是否懸空，上下樓梯時偵測前後輪的懸空以便降下線性致動器，平地時則沒有作用，至於下樓梯伸高的高度靠裝在線性致動器下方的感測器偵測，而前方共有 3 組感測器，其中 1 組位在機體右下方，上下樓梯時，判斷前方壁面高度，以便調整機體升降高度，其餘 2 組位在吸口正前方和下方，用於上下樓梯清掃與平面清掃時，偵測樓梯高度和平面清掃時有無障礙物，進而調整升降自動支撐架，以便於吸塵功能，感測器實體如(圖 10)、位置如(圖 11)。



圖 10 紅外線感測器實體圖

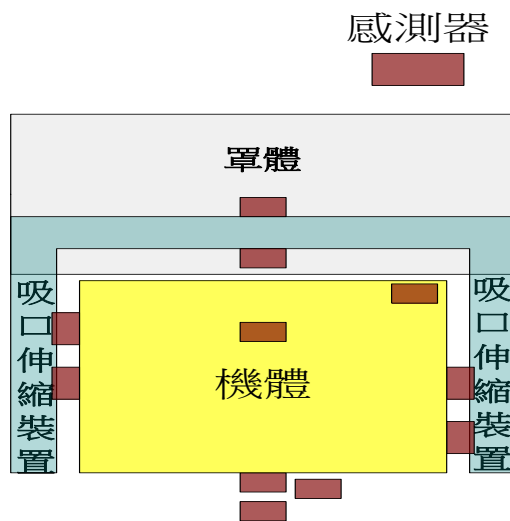


圖 11 感測器位置圖

(六)無線遙控電路[15-16]

無線遙控電路是以操作「上樓梯」、「下樓梯」、「全自動(上下樓梯)」和「平面清掃」等四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 12 a-b)。

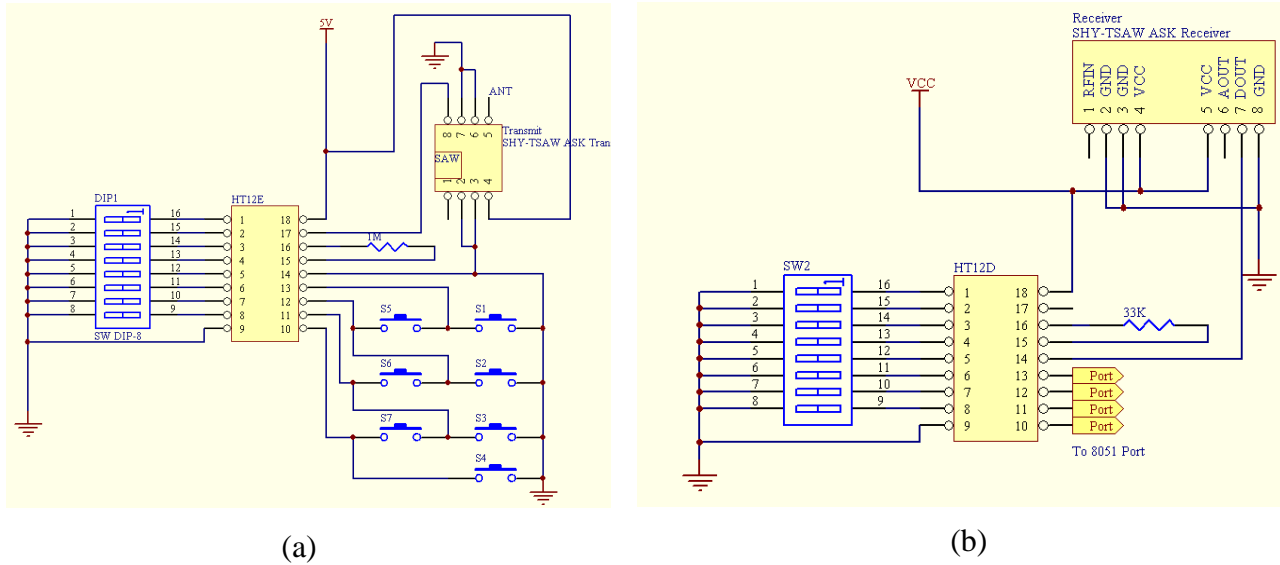


圖 12 無線遙控電路圖

二、除塵裝置

利用「自動式吸塵口」的移動吸口來加強清掃效果。對於清理地板或樓梯階面的高度調整，則利用「自動式支撐架」來完成，敘述如下：

(一)自動式吸塵口[11,17-19]

礙於空間小故採用齒輪與鏈條，齒輪是轉換旋轉運動成直線運動，用於吸口前進與後退的伸縮裝置。為了增強樓梯階面的清潔，啟動前先調整罩體大小，透過感測器測量樓梯階面深度，同時判斷伸縮裝置連接的吸口所需移動的距離，經由馬達運轉，吸口在罩體內自行移動(圖 13)，藉由吸口的移動加強吸力，順利把灰塵吸入集塵袋。製作完成的自動式吸塵口的伸縮長度由 10 公分至 21 公分，可適用不同樓梯階面大小。

(二)自動式支撐架[11,18-20]

自動式支撐架與自動式吸塵口一樣採用齒輪與鏈條，功用是自動調整吸塵口高低。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，製作完成的自動式支撐架的高度可由 2 公分升高 25 公分。可將吸塵口調至適當高度，吸入樓梯階面灰塵(圖 14)。

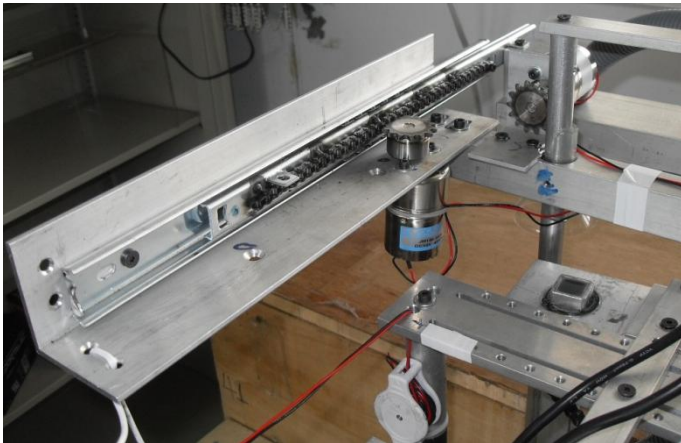


圖 13 自動吸塵口實體圖

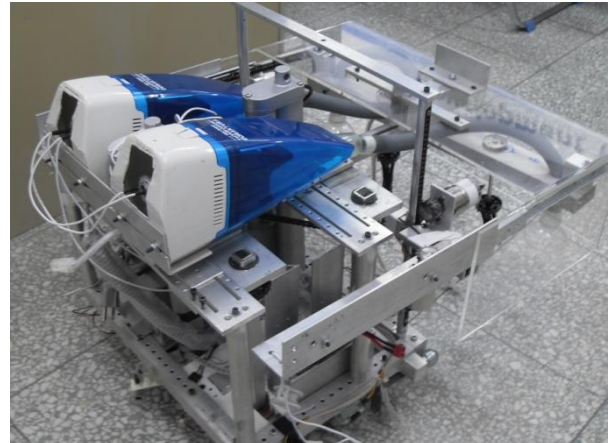


圖 14 自動支撐架實體圖

三、傳動機構[4,20-24]

基於除塵機器人之清理功能，其傳動機構要有前進、後退、轉向、上下樓梯和左右移動等方式。當機體在平地或樓梯階面前進或後退時，可由四個動力輪來完成。而上下樓梯的動作，則利用線性致動器(圖 15-16)升降和滑座支撐來達成。由於機體前後裝有偵測樓梯高度的感測器，經過微處理機的控制，能在不同的樓梯高度上下。

將動力輪與齒輪固定，利用馬達轉動鏈條帶動齒輪使四個動力輪進行轉向，藉以完成清掃平地遇到障礙物機體所需之轉向(圖 17)或清理樓梯階面所需左右移動的吸塵動作，藉著四個轉向動力輪將可大幅增進清掃速度。



圖 15 線性致動器實體圖

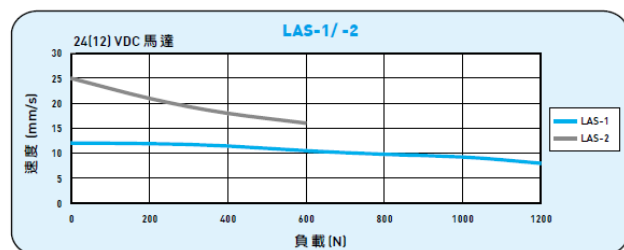


圖 16 線性致動器負載圖

最後，將(一)電路設計，(二)除塵裝置，(三)傳動機構等三項整合後之作品如(圖 18)。並提供 110V 充電 24V 輸出的電池給線性致動器，進行爬升和下降動作。吸塵器則以 12V 電池輸出進行吸塵功能。至於前進、後退、轉向、自動式支撐架和自動式吸塵口，則由電壓 11.1V 和電流 2.2A 的 5 顆並聯鋰電池所提供。

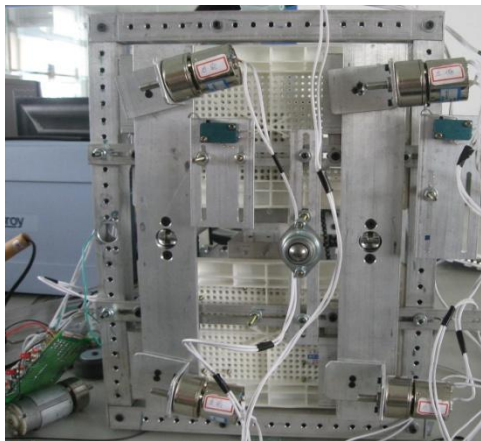


圖 17 傳動機構轉向動作圖

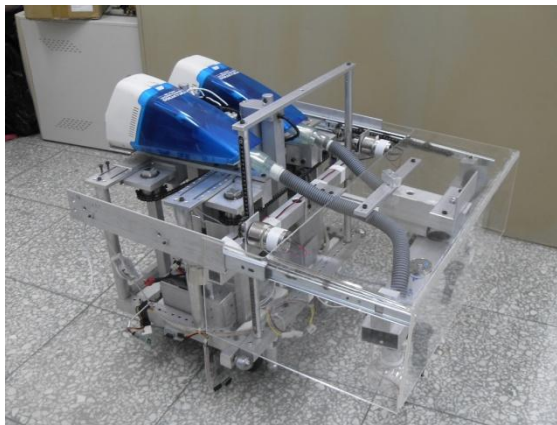


圖 18 居家樓梯清潔機器人實品圖

參、研究方法及討論

「居家樓梯清潔機器人」的規格以一般家用樓梯尺寸為標準進行製作（圖 19），重量為 29 公斤，並將他用於自製家用尺寸四階樓梯進行橫向清掃測試、上樓梯測試、下樓梯測試、平面清掃測試和自動清掃測試。

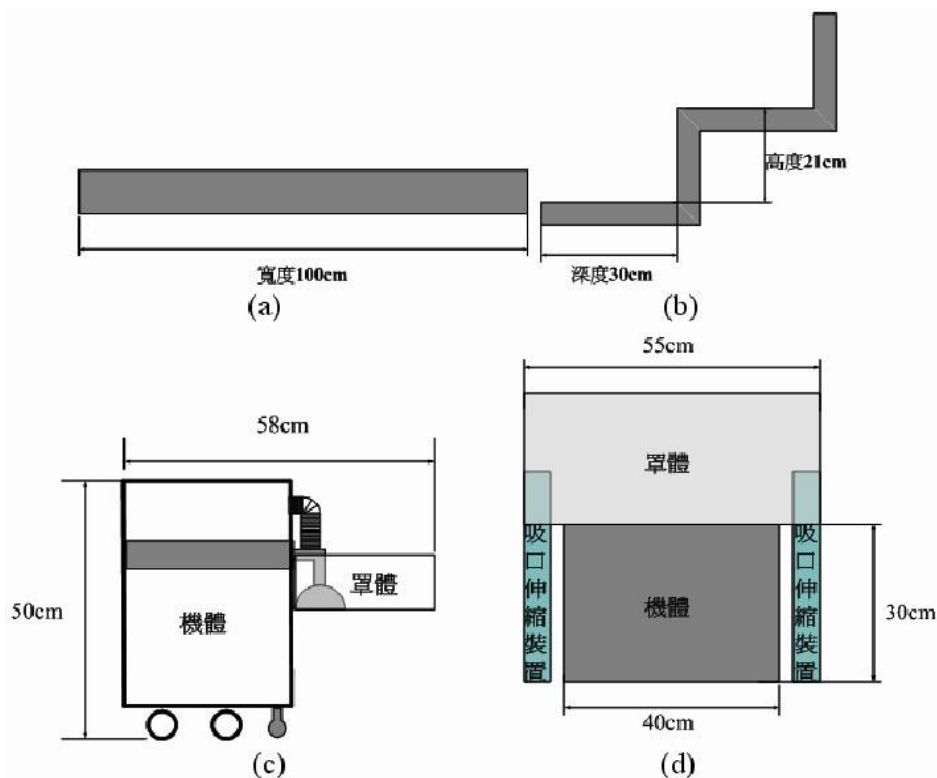


圖 19 機器人規格說明



一、橫向清掃測試

本機器人為自動方式進行清潔，先依樓梯的梯面深度調整罩體長度，開啟吸塵器，將灰塵吸入。機器人貼近樓梯壁面，並自動依家中樓梯的高度調整吸口高度，轉向機構把四個動力輪轉向 90° (圖 20a-b)，以便進行左右移動，而讓吸塵器清理第一階樓梯。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 25 秒、23 秒和 24 秒。雖然在測試過程中，轉向動力輪的 90° 轉向有些許角度誤差，造成左右移動方向有些許差異，但藉由前端導輪裝置已減少機體與壁面的摩擦阻力，所以三次清掃的量測時間相近。利用感測器裝置偵測，預防機器人左右移動清理樓梯時，撞擊牆壁或是掉下樓梯的形況發生。

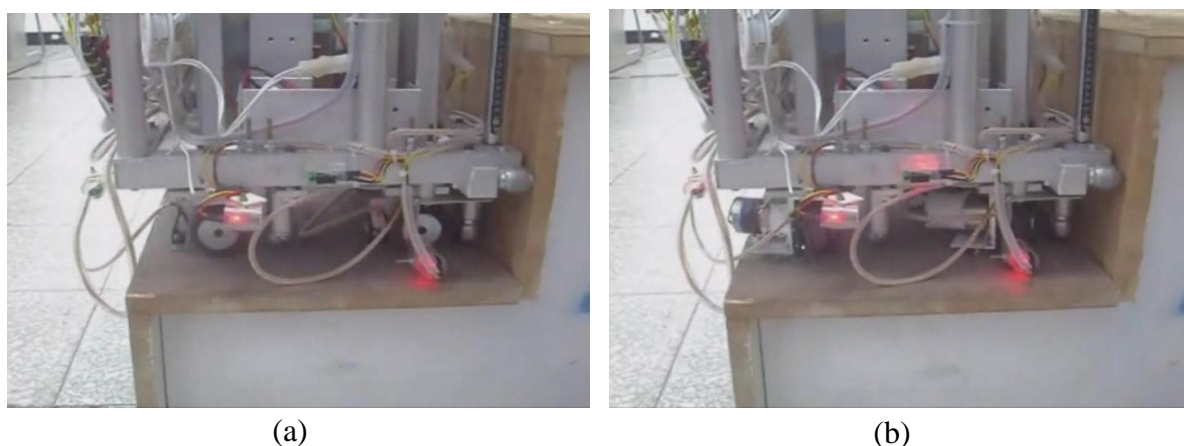


圖 20 動力輪轉向圖

二、上樓梯測試

要向上爬一階梯時，機體前進貼齊壁面，利用線性致動器將機體升高，當機體比樓梯高度高時再前進，使兩隻支撐滑座支撐於樓梯上，前排動力輪收回，再將後排動力輪往前移動至中間滑座上階梯，撐住機體，當後排動力輪接近壁面時，收起後排動力輪繼續往前，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 (21a-d)。在此，量測機體三次上樓梯時間分別為 39 秒、41 秒和 40 秒，顯示機體上樓梯的動作相當穩定。





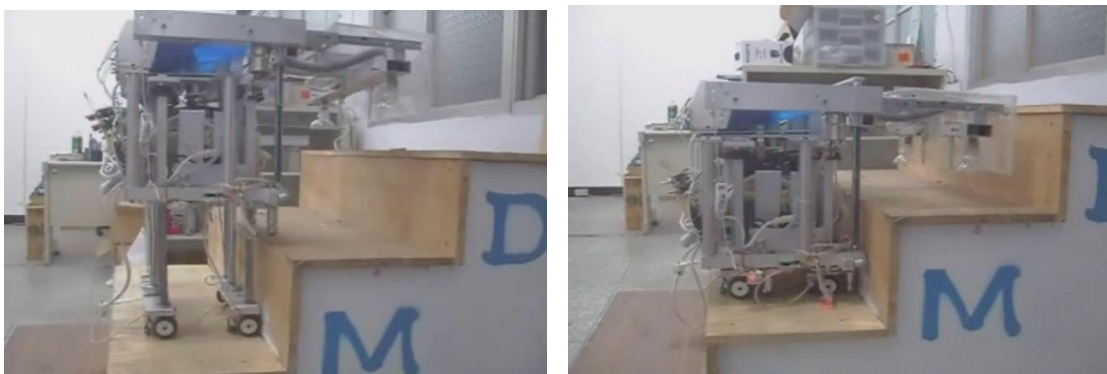
(c) (d)
圖 21 上樓梯動作圖

三、下樓梯測試

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，以確認下樓梯動作。讓機體後退至後排動力輪懸空，此時，將後排動力輪下降與下階樓梯相同高度，再讓機體繼續往後使前排動力輪懸空，因機體前方有兩隻支撐滑座，所以前排動力輪懸空時，利用後排動力輪和滑座支撐，故可保持機體不會掉落，再將前排動力輪下降至與下階樓梯相同高度，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（22a-d）。在此，量測機體三次下樓梯時間分別為 45 秒、47 秒和 46 秒。



(a) (b)



(c) (d)
圖 22 下樓梯動作圖



四、平面清掃測試

平面清掃模式是以前進方式進行清掃，如感測器感測到前方有障礙物，則會使四個動力輪轉向 90° 向左移動一小斷距離，再讓四個動力輪轉回，隨後，讓機體往後移動至後感測器感測到有障礙物，此時再使動力輪轉向 90° ，再向左移動一小斷距離，再讓動力輪轉回，如此重覆上述方式至左方感測器感測到有障礙物，再使動力輪轉向之移動方向改至向右，當右感測器也偵測到有障礙物則方向再向左移動，以進行平面清掃(圖 23)，但尚無記憶路徑功能，可能發生清掃路徑重複或遺漏。

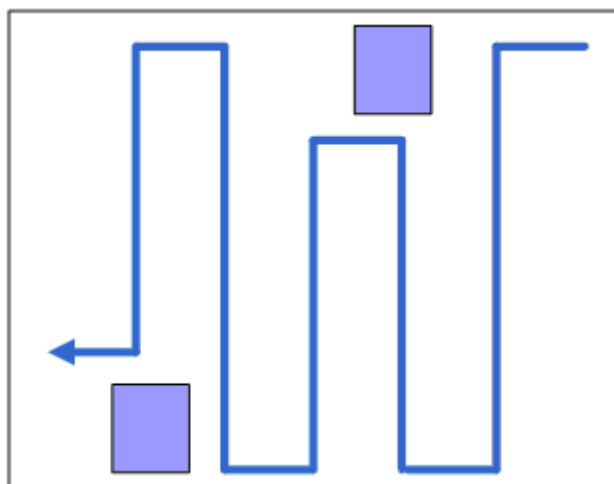


圖 23 平面清掃示意圖

五、自動清掃測試

藉由上述四種測試，機器人已能完成上下樓梯、橫向清掃和平面清掃等動作。現進一步測試自動清掃模式。在「上樓梯清掃模式」測試中，連續清掃三階樓梯所需時間為 192 秒(圖 24)，而「下樓梯清掃模式」測試中，連續清掃三階樓梯所需時間為 206 秒(圖 25)，且皆能達到自動清掃的目的。由(圖 24)、(圖 25)的測試結果可進一步發現，在清掃過程中，「自動式支撐架」雖要花費些許時間調整清掃高度，但「轉向機構」的設計，有效地縮減了橫向清掃時間，所以無論「上樓梯清掃模式」或「下樓梯清掃模式」居家清潔機器人的清掃時間都比第一代機器人的清掃時間為短。

在機體增設無線遙控裝置，而單晶片微處理機內的程式撰寫配合無線遙控操作裝置(圖 26)，將使遙控裝置除遙控機體外，還可選擇「平面清掃」、「上樓梯清掃」、「下樓梯清掃」和「全自動(上下樓梯)清掃」等四種模式。若將除塵裝置拆除，將可轉化成為搬運貨物的「搬運機器人」，藉以提高機器人的功能性和實用性(圖 27)。

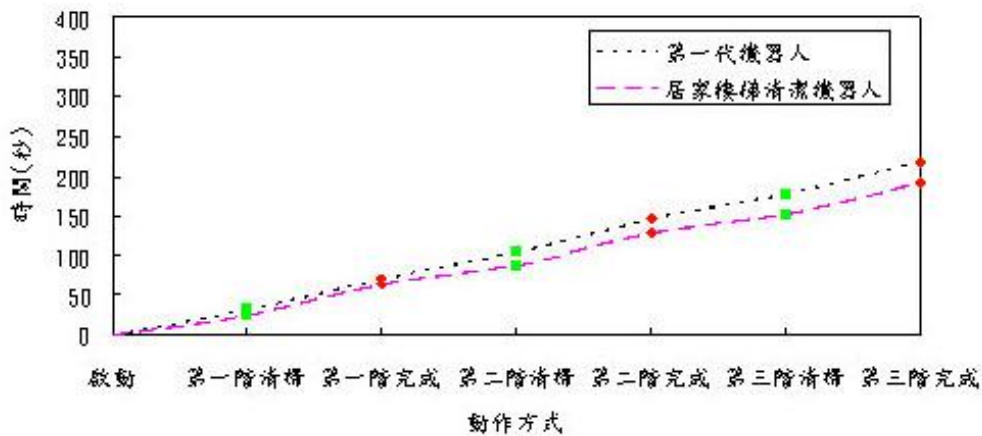


圖 24 上樓梯清掃時間圖

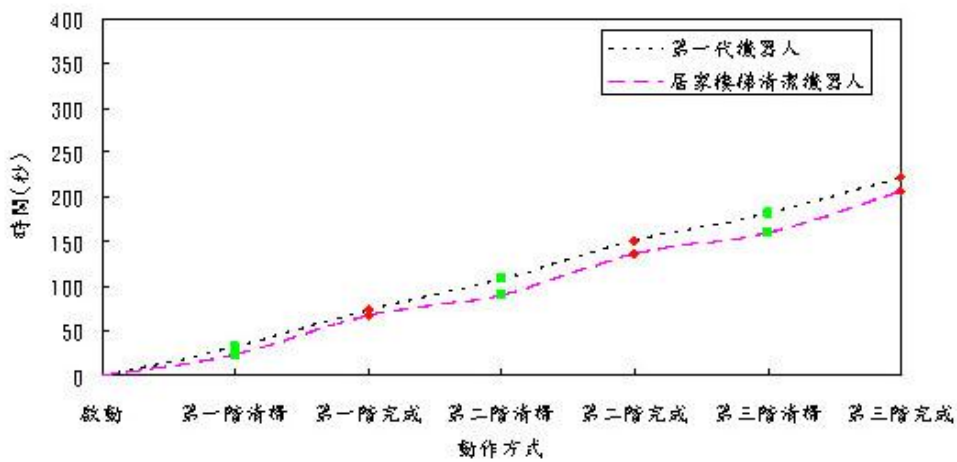


圖 25 下樓梯清掃時間圖

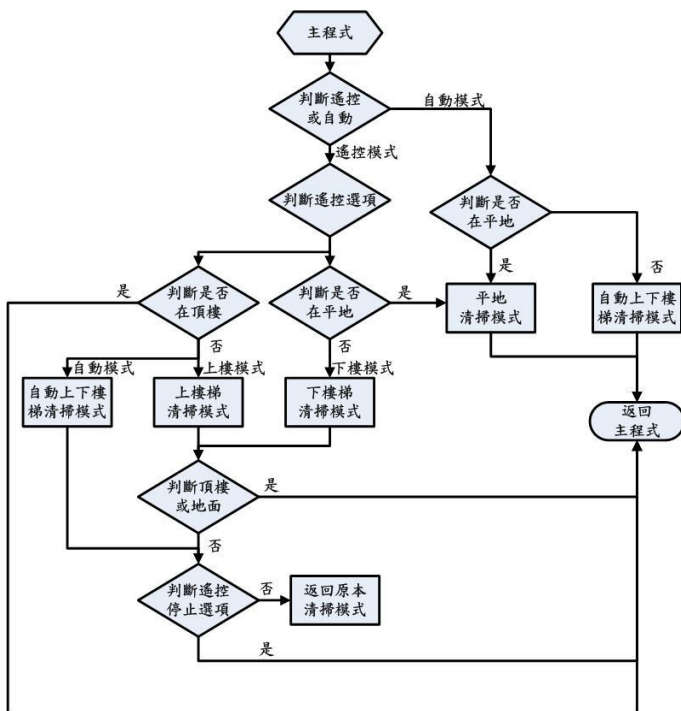


圖 26 程式撰寫流程圖



圖 27 搬運潔機器人實品圖



肆、結論

經由各個元件的測試和整合，「居家樓梯清潔機器人」已成功地完成清理樓梯、上下樓梯和平面清掃等相關動作，更藉由無線遙控器的操作，將可選擇「平面清掃模式」、「上樓梯清掃模式」、「下樓梯清掃模式」或「全自動（上下樓梯）清掃模式」。若進一步將除塵裝置拆除，將可轉化成為搬運貨物的「搬運機器人」。就整體而言，此機器人無論是功能性和清掃速度都比上一代機器人有進一步的提升。但因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詳細說明，相信若有更小、更有力的吸塵器的搭配，將有更好的清潔效果。

參考文獻

1. 余志成、林燁敏、張書榮，[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，pp. 1-8，2007。
2. 林燁敏、余志成，[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，pp. 1-8，2007。
3. 林尚揚 陳善本 李成桐，[焊接機器人及其應用] 機械工業出版社，2000。
4. 劉昭忠、劉昭恕、許竣傑、張宇丞、呂佑安、程冠儒，“家用樓梯除塵機器人之設計”中州管理與人文科學叢刊，第一卷，第二期，pp. 55-70，8月，2011。（ISSN-2224-3305）
5. Gordon McComb, Myke Predko 著、龐明、王曉宇、任宗偉 譯，[機器人設計與實現] 科學出版社，2008。
6. 楊廷力，[機器人機構拓撲結構學] 機械工業出版社，2004。
7. 徐德，[室內移動式服務機器人的感知、定位與控制] 科學出版社，2008。
8. 卓聖鵬，[機器人控制] 全華科技圖書出版社，2000。
9. 張培仁、張志堅、鄭旭東、張華賓，[基於 16/32 為 DSP 機器人控制系統設計與實現] 清華大學出版社，1996 年 10 月。
10. 王允上，[機器人單晶片微電腦控制] 全華科技圖書出版社，1997 年 2 月。
11. 郭俊良、王培士，[機器人的機構與控制] 全華出版社，1978 年 5 月。
12. 谷腰欣司 著、辰白 譯，[馬達驅動電路技術] 建興出版社，1989 年 1 月。
13. 王金標，[電動機控制-馬達驅動器理論及實作]全威圖書有限公司，1989 年 2 月。
14. 許溢適，[感測器的使用法與電路設計] 全華科技圖書出版社，1981 年 8 月。
15. 楊旺枝，[機器人 DIY] 全華科技圖書出版社，2005。
16. 朱世強、王宣銀，[機器人技術及其應用] 浙江大學出版社，1999。
17. 單景德，[真空吸取器設計及應用技術] 國防工業出版社，1990 年 1 月。
18. 李宗良、林永立，[現代機構百科(上)(下)] 全華圖書股份有限公司，1981 年 7 月。
19. 余文華、黃建閔、陳志逢、黃政璋，[創意思考競賽] 中州技術學院專題製作，pp. 5-58，1996。
20. 江宗勳、李欣翰、江振宏、黃啟郎，[創意思考競賽] 中州技術學院專題製作，pp. 5-64，1998。

21. 西格沃特·諾巴克什 著、李人厚 譯，[自主移動機器人導論] 西安交通大學書版社，2006。
22. 劉極峰，[機器人技術基礎] 高等教育出版社，2006。
23. 晉茂林，[機器人學] 五南圖書出版公司，2000。
24. 日本機器人學會，[新版機器人技術手冊] 科學出版社，1997 年 10 月。

Home Stair Cleaning Robot

Chao-Chung Liu¹, Yuan-Chang Liou², Young-Jinn Lay³, Guan-Ru Cheng⁴

^{1,2,3} Department of Electrical Engineering and Energy Technology, Chung Chou University of Science and Technology

⁴ Graduate School of Engineering Technology, Chung Chou University of Science and Technology

ABSTRACT

In the paper, this robot is designed to integrate the dynamic mechanism, dust removal equipment, electric circuit and single-chip microprocessor for cleaning indoor stairs. For lateral movement and going up or down stairs, the main components of dynamic mechanism have four power wheels, five gears and one gear chain, two motors, three sliding supports and two linear actuators. Many Sensors around the main body are used to avoid collision with the floor obstacles or the fall from the stairs. The dust removal equipment consists of two automatic support frames for adjusting the height of the different stair risers and two automatic vacuum ports for the cleaning on every stair tread. The automatic cleaning action of dynamic mechanism and dust removal equipment is controlled by both electric circuit and single-chip microprocessor. For the operation of functionality and practicality, a remote control switch is added to the robot with four models, including floor cleaning, going up stairs cleaning, going down stairs cleaning, automatic cleaning and so on.

Keywords : Stair, Cleaning, Robot

