

國立交通大學 電機資訊學士班

電機書報專題

專題名稱：以樂高製作爬樓梯機器人

指導教授：楊谷洋

專題學生：0210005 王立揚

0210015 蘇偉誠

0210031 羅紹元

日期：102 年 1 月 8 日

一、 研究動機

我們這組對於機器人都有著很深的興趣，因此選了機器人領域作為這學期的書報專題題目。經過與教授的討論之後，決定採用樂高來製作我們的機器人。而能夠讓機器爬樓梯，是一項兼具了實用性和酷炫性的技能，可以展現對抗地球引力的霸氣，又能將其應用在各種層面，例如運輸貨物、居家清潔等等，有著十足的實用性，因此以爬樓梯作為我們機器人的發展方向，用樂高來製作屬於我們的爬樓梯機器人。

二、 研究主題介紹

根據目前國內外的研究成果與相關產品發表，爬樓梯機器人可分為兩大類：車型爬樓梯機器人和人型爬樓梯機器人。因為製作人型機器人所需的技術門檻甚高，車型爬樓梯機器人較符合我們的樂高材料及現有知識能力所及的實作範圍，因此選擇車型爬樓梯機器人作為主要的介紹對象。

車型爬樓梯機器人包含了三種主要形式：(1)履帶式(2)星輪式(3)升降式。以下分別對這些不同類型的爬樓梯機器人做整理，並介紹爬樓梯機器人在人類社會生活上的應用：

（一） 履帶式爬樓梯機器人

1. 工作原理

(1) 結構

履帶式爬樓梯機器人的主要結構包含機器主體、馬達以及前後臂，前後臂左右各有一臂，整個機器人共會有四個爬坡手臂。每條手臂以一圈可轉動的鏈條構成，透過馬達來帶動鏈條轉動，作為機器人主要的前進動力，並在鏈條上裝套防滑橡膠墊片，提升機器人在上下樓梯時的摩擦力，以免造成滑落。而前後臂的設計，主要用於機器人爬樓梯時攀附樓梯的台階邊緣，增加與樓梯的接觸點，使得機器人在爬樓梯的過程更為平穩，並且能夠在機器人突然失去動力的情況下以後臂（下樓梯時則為前臂）支撐住機體，能有效避免滑落或翻覆的危險發生。

(2) 上樓梯設計

爬樓梯機器人在上樓梯的第一階段，必須先透過前臂的下壓輔助，來讓機器人與樓梯間能夠有一定的角度差，使得機器人在上樓梯時能夠較為流暢。倘若機器人與樓梯之間沒有角度差，則機器人必須要施予更大的扭力來進行攀爬的動作，會加重馬達的負擔與電力的耗

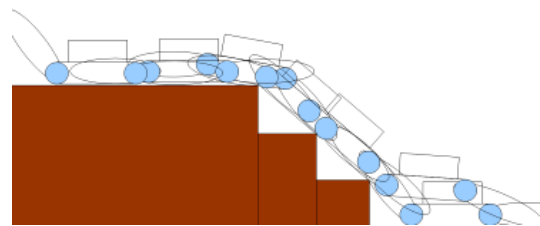


圖 1 履帶式上樓梯示意圖

損。

(3) 下樓梯設計

爬樓梯機器人在下樓梯時的第一階段動作上，同樣要先利用前臂進行下壓的動作，讓機器人能夠以較為緩和的速度得到一個傾斜的角度，而後臂則適時地往上抬起讓機器人能夠平躺在樓梯的斜面上。這樣的設計可以避免下降角度傾斜過快而導致滑動或是翻覆的危險情況發生。

2. 優點

(1) 連續性

履帶式爬樓梯機器人相較於升降式與星輪式最具有行走的連續性，由履帶的轉動帶動機器人爬行，動作連續，傳動效率高，速度較快速，不會有間歇的問題。

(2) 穩定性

在上下樓梯的過程中，機器人的重心始終沿著與樓梯台階沿的連線平行的直線運動，行走時重心的波動很小，運動非常平穩。

3. 缺點

(1) 阻力大

履帶式爬樓梯機器人為了避免上下樓梯時滑落，手臂的鏈條上會套上摩擦力極大的橡膠圈片，雖然增加了爬樓梯時的摩擦力，卻也同時增加平地行走時的阻力，使得運動不夠靈活，適應各種地勢的能力較薄弱。

(2) 損壞力

同樣因為輪帶上的橡膠圈片摩擦力大，因此在爬樓梯時履帶容易損壞樓梯邊緣。

(3) 傾斜角度大

機器人會隨著樓梯的陡峭程度而有相同角度的傾斜，因此若遇到過於陡峭的樓梯，除了增加滑落或翻覆的風險之外，在輪椅或運送易碎物品的應用上，更是造成危險。

4. 代表實例

NTNU CIR-I—日夜間履帶式機器人（台師大應電系王偉彥教授團隊研發）

國立臺灣師範大學研發出新型「日夜間履帶式機器人」，不但能在晚上自動巡邏，即時偵測異常環境，就算遇到陡峭樓梯，也能輕鬆爬往各樓層，只要透過電腦或手機上網，在遠地就可監看異狀，已有化學工廠洽談這套系統，預計運用於爬樓梯巡邏廠房各樓層，也彌補夜間保全人力不足。

研究團隊使用四顆伺服馬達來控制其前後臂及左右邊的履帶。「NTNU CIR-I」前後臂的主要功能為改變其幾何形狀，有效執行攀爬或翻越障礙物的任務，左右履帶主要功能為執行機器人的基本動作，如前進、後退、左轉、右轉等。

一般攝影機無法在夜間或黑暗的環境下有效地得知周圍景象，研究團隊使用一個深度感測器，除了具有彩色影像外，還有感測器與前方物體的距離資訊，即使在無光線的環境下，也能夠順利進行環境的偵測與判斷，讓「NTNU CIR-I」具有良好的方向與距離判斷能力，透過熱源感應器，可在第一時間發現火災，透過網路、監視鏡頭，更可達到遠端監控功能。

「NTNU CIR-I」所有偵測與行動，均以自主方式進行，當偵測到樓梯或斜坡時，「NTNU CIR-I」會先行行走至中間位置，接著計算傾斜角度，然後進行攀爬。攀爬過程中，「NTNU CIR-I」會即時隨行走方向細微調整，使機身不會過度歪斜。智慧型的控制讓整個攀爬系統能更順利。此外，「NTNU CIR-I」具有良好的自動避障功能，可以自動避開路上的障礙物，而轉向半徑小，使其可以原地轉向。可應用範圍包括各種災難現場搜尋工作、巡邏保全工作，例如：工廠、大廈、校園巡邏等。



圖 2 NTNU CIR-I



圖 3 NTNU CIR-I 研發團隊

(二) 星輪式爬樓梯機器人

1. 工作原理

(1) 結構

星輪式爬樓梯機器人的主要結構包含機器主體、馬達以及主體兩側共四個星狀輪組。馬達帶動各個星狀輪轉動。星狀輪組具有兩個旋轉自由度，每個小輪可以繞著各自的軸線自轉，也可以隨著系桿一起繞中心軸公轉。輪組的結構尺寸根據樓梯的台階高與台階寬兩個參數決定。

(2) 平地行走與轉彎

在平地時採用各小輪自轉的運動模式。各小輪等速轉動，可以直線行走；兩側小輪轉動方向相反則能原地轉向。

(3) 上下樓梯

上下樓梯時採用各小輪一起繞中心軸公轉模式，以星狀輪的旋轉，一階一階地跨上樓梯。而機器人在爬樓梯時，小輪的驅動器將會停止並自鎖，防止在爬樓梯的過程中小輪滑移。

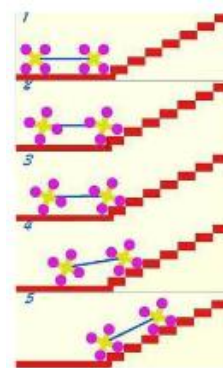


圖 4 星輪式上樓梯示意圖

2. 優點

(1) 環境適應力強

星輪式爬樓梯機器人星狀輪轉動的設計，能夠輕易地越過障礙物、橫越溝渠，並上下樓梯，能夠在各種地形上行走，較不受到地勢局限。而在遇到顛頗的路面時，還能「站起來」，將前輪抬起只用後輪在地面轉動，降低機體的晃動。

(2) 移動速度快

可以藉由提升星狀輪轉動的速度就能讓移動速度加快，活動範圍廣，運動靈活。



圖 5 星輪式爬樓梯機器人

3. 缺點

(1) 運動不平穩

在機器人移動的過程中，會不斷地隨著星狀輪的轉動上下起伏，使得機器人劇烈晃動，運動起來非常不平穩，在輪椅與運送物品的應用上，更會造成使用者的不適與物品的損壞。

(2) 體積大

為了跨上樓梯台階的高度，星狀輪的大小需要夠大，而且若考慮穩定性而增加輪子的數量，又會使整個機器人體積更大，會產生攜帶不便且不適用於居家使用的問題。

(3) 傾斜角度大

和履帶式爬樓梯機器人相同，機器人會隨著樓梯的陡峭程度而有有相同角度的傾斜，因此若遇到過於陡峭的樓梯，會增加滑落或翻覆的風險。

4. 代表實例

iBOT 電動輪椅（美國發明家迪恩·卡門發明）

「iBOT3000 獨立機動系統」(簡稱 iBOT)，由美國著名發明家迪恩・卡門發明。20 年前，卡門洗澡時差點在浴室跌倒，讓他靈光乍現，設計出一種可以防止翻覆電動輪椅。經過多年努力，他成功設計出 iBOT。

iBOT 與普通輪椅不同：它有 6 個輪子，前面一對為直徑 10 厘米的實心腳輪，後面兩對為直徑 30 厘米的充氣輪胎。iBOT 透過陀螺儀系統來保持平衡，當輪椅上的感測器偵測到重心變化時，會馬上把訊息傳輸到座椅下方的控制機盒中。控制機盒能讓輪椅的機械系統進行自我調整，保持平衡。



圖 6 iBOT 輪椅

iBOT 共有 3 種運動模式，一種是正常模式，像普通輪椅一樣在平地上前進，6 只輪子同時著地；如果遇到崎嶇的路面、沙土地或斜坡，它就進入四輪驅動狀態，靠 4 個後輪行走。第二種是直立模式，只靠一對後輪接觸地面，iBOT 可以保持這種站立姿勢，也能「直立行走」。第三種是爬梯模式，用兩對後輪交替的方式上下樓梯。

對行動不便者而言，iBOT「金雞獨立」的站立模式是最體貼的功能。能夠提升到正常人的高度，讓乘坐者能夠到書架上取書、靠在吧台上喝酒等普通人能夠做的動。更重要的是，這給予乘坐者平等的感覺，容易建立起自信。

(三) 升降式爬樓梯機器人

1. 工作原理

(1) 結構

升降式爬樓梯機器人又稱為間歇型爬樓梯機器人，主要結構包含機器主體、馬達以及兩套支撐裝置。兩套支撐裝置配置的位置一前一後，每套各有兩隻腳，也就是有兩個支撐點，每隻腳都會裝上輪子，平地時可滾動行走，爬樓梯時則扮演支撐點的角色。

(2) 上下樓梯方式

以上樓梯為例，在爬樓梯時，先由後面那套支撐裝置支撐，抬高機器人機體及前面那套支撐系統，在水平向前移動，讓前方的支撐點跨上上一層台階，再將後方的支撐點收回，接著水平向前移動，使整個機器人都位於新的一層台階上，如此便完成爬一階樓梯的動作。而後方支撐點在向上收回時，會緊貼著台階的垂直面滾上，透過與台階面的接觸以增加穩定性。這種形式的機器人爬樓梯的方式類似於人上下樓梯的過程，因此又稱為「步行式爬樓梯機器人」。

2. 優點

(1) 平穩

升降式爬樓梯機器人在爬樓梯的過程中，因為是透過類似升降梯的模式，透過支撐點的升降與交替來上下階梯，因此整個機器人主體始終保持水平狀態，沒有傾斜的問題。這在輪椅和運送貨物方面的應用是很大的優點，能夠上乘坐者舒適，亦能保護貨品。而在平地行走方面，將兩套支撐點都縮回，就與一般的四輪車無異，運動起來亦具有高穩定性。



圖 7 雷米度 Let Me Do

(2) 可適應陡峭樓梯

這種機器人基本上只要伸縮的支撐點長度夠長，任何高度的樓梯都能跨得上去，而且機身始終維持水平，相較於履帶式及星輪式面對陡峭的樓梯會有傾斜過大的問題，升降式是最能夠適應高台階與陡梯的機器人。

3. 缺點

(1) 速度慢

升降式機器人爬樓梯的方法是「間歇型」的，每到一層台階都要停下來重新伸縮與交換支撐點，速度上緩慢了許多，傳輸效率較差。

(2) 系統複雜

爬樓梯的過程步驟繁複，機器人對控制層面的要求也比較高，使用者操作上也甚為複雜，同時系統的出錯率與人為操作失誤率也會提升，無形中增加了危險性。

4. 代表實例

雷米度一家用樓梯除塵機器人（中州技術學院電機系劉昭忠教授團隊研發）

機器人也能自己爬樓梯掃地！中州技術學院電機工程系師生團隊，歷時半年研發製作「家用樓梯除塵機器人」－雷米度（Let Me Do），能自己上樓梯清掃吸塵，今年首次參加「全國微電腦應用系統設計製作競賽」，在大專組與研究所組第一名都從缺下，榮獲大專組「機器人與自動機具類」第二名，展現堅強的研發實力。

中州技術學院電機系劉昭忠教授表示，目前市面上所販售的家用清掃機器人只侷限於平面移動，因此研發團隊就想到如何讓機器人可以立體移動，自己上樓梯清掃吸塵。雷米度的傳動機構分為升降、前進和左右移動三項動作，需要二支線性致動器、二個支撐輪和五個動力輪，並於機座底部加裝彈簧解決五個動力輪的懸空問題。

首先，中間動力輪的左右移動，完成樓梯階面的除塵動作。其次，兩支線性致動器同時將機體升高至下一階高度，且左右兩側四個動力輪往前移動，當二個支撐輪卡住下一階時，第一支線性致動器的左右兩個動力輪向上收起，機體繼續往前移動，直至機體一半以上在下一階面時，第二支線性致

動器的左右兩個動力輪也向上收起，且繼續往前，完成爬樓梯動作。

雷米度本身裝有五顆感測器，前端感測器讓機體升至適當高度，順利完成爬樓梯動作；左右兩側感測器，可防止機體左右移動清理時撞擊樓梯壁面。至於左右兩側下方的感測器，即避免機體因懸空而掉下樓梯，最後當機體爬至樓梯最高層時就會自動停止。

劉昭忠教授表示，「家用樓梯除塵機器人」正在申請台灣專利；第一代機器人每掃完一階約需 2 分鐘，目前師生團隊正從事第二代「全功能居家除塵型機器人」研發，向快速清掃、下樓梯和增進更多自動功能的目標邁進。

（四）爬樓梯機器人的應用

1. 居家掃地機器人

目前市面上可見的掃地機器人仍以平面移動的為主，然而可爬樓梯的掃地機也正積極研發中，雖然沒有電動輪椅發展得成熟，但在未來仍極具開發潛力，蘊含著龐大商機。不論是否會爬樓梯的掃地機器人，現在都以 iRobot 位居技術領先地位。



圖 8 IRobot Negotiator 200

2. 電動輪椅

目前多數的輪椅只能在平坦的路面上行駛，遇到樓梯、台階、溝槽、門檻等障礙對輪椅族形成很大的限制，因此許多廠商相繼研發出能將代步、跨越溝、坎、台階與樓梯等功能融為一體的輪椅，使爬樓梯輪椅成為爬樓梯機器人最開始也是最重要的應用項目。而其中，履帶式的形式又是爬樓梯輪椅目前發展的主流。

履帶式爬樓梯輪椅--良蕙機電科技

萬字輪爬樓梯輪椅--石獅福運商貿



圖 9



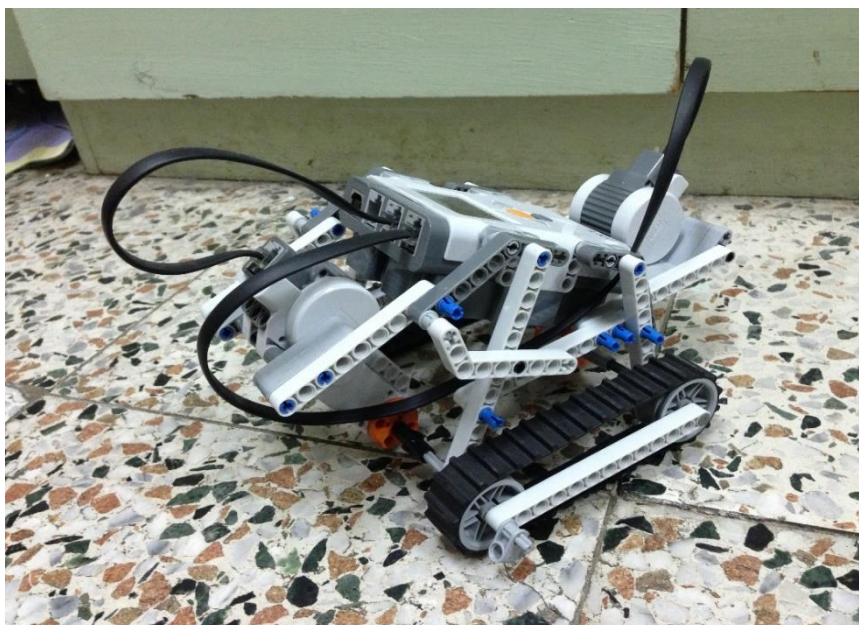
圖 10

三、 研究實作過程

1. 資料蒐集：瀏覽各大學關於機器人的網站及其他相關機構的創作。



2. 初步設計：參考所蒐集資料，結合物理知識，決定使用雙邊雙履帶作為主要架構，並盡量降低重心。
3. 第一階段製作：向實驗室領取材料並清點，發現履帶與輪胎數量不如預期，被迫先以單履帶作為爬樓梯架構。骨架則以NXT主機為中心，以最節省材料的方式組合出車體。第一階段成品為梯型車體配上雙邊單履帶(由雙馬達傳動)，如圖示：



4. 第二階段修改：第一階段成品無法如預期爬上樓梯。經過觀察後，我們決定利用剩餘的馬達打造輔助輪，使原本的车體在爬上坡後有個支撐點，不至於向後翻覆，且增加了些許爬坡能力。成品如圖示：

四、 研究實作結果與測試

1. 第一階段成品：

固定馬達轉速，改變坡度

約 30 度：爬坡極容易且快速。

約 40 度：爬坡容易，但速度開始減緩。

約 50 度：只能爬上一兩階，時常翻覆。

約 55 度以上：完全無法爬上階梯，只會卡在第一階樓梯。

固定坡度，改變馬達轉速

結果相似，僅爬坡的速度改變。

2. 第二階段成品：

固定馬達轉速，改變坡度

約 50 度：可順利爬坡，毫無窒礙。

約 60 度：亦可爬上樓梯且未翻覆，但階層不多。

約 70 度：僅能爬上一至二階。

約 80 度：只能直立卡在階層中，無法翻越樓梯但也不會翻覆。

固定坡度，改變馬達轉速

結果相似，但超過 70 度的坡，只要 power 超過 70，就很容易翻覆。

五、 研究心得

（一） 王立揚

還記得當初選擇專題時，我們一點概念都沒有，就只是憑著「我們想玩看看機器人」這種模糊的想法，便決定了這學期的題目：製作爬樓梯機器人。

機器人是所有男孩們的夢想，而實際打造出一台真的可以依照想像動作的機器人更是不可多得的機會；秉持著心中的憧憬，我們逐步訂定方向：從最開始的基礎越野機器人，一直到最終確定的題目，期間討論過無數次，提出數不清的困難與可能性，最後才下定決心以爬樓梯作為核心重點。而在確定概念後，便和教授借來樂高機器人套組，就這麼在一無所知的狀況下開始了組裝與測試。最初，我們根據教授的建議與網路上的資料，慢慢組裝出原始的模型。然而在製作過程中，卻總是因為材料不足等因素，必須修改腦內的想法。有時受限於零件的多寡，甚至必需絞盡腦汁，嘗試各種組合以達到設計的要求。我記得有一晚，為了後段輔助輪的問題，我們將設計一改再改，一直到凌晨三點多才勉強算完成。原型組裝完後，接著是漫無止境的軟硬體修正。每次測試都會發現新的小問題，使得我們必須不斷地更動結構，有幾次甚至得更換骨架才能使機器達到最完美的表現。經過了數個禮拜的努力，最後終於在十二月中完成了爬樓梯機器人。雖然無法像其他實驗室的成品那般帥氣與流暢，但我們仍深深地以自己與作品為傲：在材料被極度限制的情況下，依舊成功組裝一台能夠爬上緩梯的機器人！雖然這次專題顯得有些倉卒草率，但我認為我們確實地達到了我們的初衷；如果手邊有更豐富的資源，如果我們有更深厚的基礎知識，相信一定能夠製造更完美的作品！

（二） 蘇偉誠

以前住在公寓裡面，每次都看到有老伯伯老婆婆在上下樓爬樓梯的時候很辛苦，隨時都有可能重心不穩而摔倒。這次作電機專題有機會能作關於實現這類計畫的東西，於是我們找了楊谷洋教授指導我們這次的專題。由於我們都沒有什麼經驗，所以先拿比較簡單的樂高機器人 NXT 來模擬能爬樓梯的機器人。

這是上大學後，第一次做專題，雖然一開始關於機器人的組裝沒有任何的想法，但是藉由搜尋各大學及各研究機構的網站，逐漸發現現在爬樓梯機器人的幾大方法。但礙於材料及時間的因素，我們沒有辦法每種方法都測試一遍，只選了履帶式的、再加上我們的改良，做成了我們最後的成品。最後這個專題讓我學到的有很多，

一、善用前人留下來的資料。由於這不是多麼嶄新的想法，網路上有許多

資料能讓我們參考。因此，我們能以他們的想法為藍本，創造出屬於我們自己的機器人。

二、實際動手去做永遠比口頭上所說的難、但是比較踏實。在組裝機器人的時候，原本要用雙履帶的模式去組裝，但是看了樂高的材料，似乎只能用一組履帶。所以我們就先以一組履帶去測試，然而我們發現了一個大困難—只要坡度稍微大一點，機器人就沒有辦法爬上去、或爬上去因重心不穩而翻覆。看了剩下的材料，好像還有一科輪胎可以用。我們用盡全力去想有什麼辦法能靠增加一顆輪子，使的機器人能爬上更陡的坡面。最後，我們想到把那顆輪子當輔助輪，放在後面支撐著整體，如此一來不但不會因重心不穩而翻覆，甚至能增加動力一起往前推進。

三、要在有限的資源做出成品是一件非常有趣的事情。

未來在研究任何東西的時候，都可能碰到經費不足的可能。只有兩種方法可以解決—爭取更多經費或者想其他做出相同功能的東西。然而得到更多經費是比較不可能的事情，所以只能靠我們的腦袋完成設計。也因為如此，我們才會有其他想法，而不是拘泥在前人的設計裡面。

雖然最後成品和我們原先想做得大型爬樓梯機器人不太相同，但是藉由樂高，了解了初步的概念及想法，若是以後還有機會繼續完成這個想法造福這個高齡化的世界，我想這對行動不便的人是一大福祉。

（三） 羅紹元

在上大學之前，我就對機器人領域很有興趣，一個人造的機器，居然能夠具有人的形體，甚至逼真的臉部表情、眼神，並具有人類般的說話對答能力，走起路來彷彿機器戰警，令人驚豔。不僅如此，從新聞媒體報導的最新機器人科技技術，顯示出機器人在未來應用層面的廣度，能夠救災、動手術、醫療照護，還能代替生病的學童出席上課，這些造福社會、對人類做出貢獻的應用，更令我對機器人領域有更深一層的期待與嚮往。

因緣際會，暑假時發現了電機學院所開設的新鮮人探索系列課程，便毫不猶豫地選擇了楊谷洋老師的機器人課程。在新鮮人課程中，建立了對於機器人的概念，也透過課堂報告對何謂機器人有了比起一般人不同的視野。因此在挑選電資學士班為我們規劃的書報專題課程的題目時，便和同學們選擇了楊老師所專長的機器人主題。

後來透過與老師和同學的討論後，決定以樂高來製作爬樓梯機器人。我們參考了網路別人做過類似的作品，整理出做適合我們所要呈現的樣式。經過多次的組裝與功能測試，從中發現機器人的缺陷以及面臨的問題，多次改造調整之後，終於完成屬於我們的爬樓梯機器人！

雖然我們才大一，很多相關的專業知識背景都還不具備，所做出作品的功能等各方面都不完備，距離真正具有實用性的機器人還有很大一段差距，但這次的專題研究，仍然學到了不少東西。除了我們實作上的過程習

得了一些經驗外，事後閱覽國內外發展出相關的爬樓梯機器人的資料，同樣收穫良多！

藉由網路查詢到的相關論文、專題與資料，讓我們了解到爬樓梯機器人的型態以及目前在世界上的應用。這些知識，真的讓我覺得自己在機器人這個領域的視野變得更廣。若當別人問到甚麼是機器人時，我想我已經能夠言之有物，擁有一般人所沒有的見解了。我想這就是學校安排給我們大一書報專題最大的意義吧！即使知識能力還不足以作出多驚豔的成果，但透過簡單的實作及相關領域的探索，開拓我們對電機領域的眼界，培養未來作為一位工程師所涵養的思維，是完成這份書報專題最珍貴的收穫。

很感謝楊谷洋老師在這一整個學期，包含新鮮人課程和書報專題的指導，真的是既耐心又用心，顛覆我上大學前對於大學教授古板的印象。也希望自己未來也能夠運用電機領域的所學，對社會作出貢獻，造福更多的人們！

六、 參考資料

<http://pr.ntnu.edu.tw/news/index.php?mode=data&id=12867>

<http://people.com.cn/BIG5/paper68/8011/759575.html>

<http://www.peopo.org/news/43313>

<http://www.wenkudaquan.com/doc/20120515/146358.html>

http://tc.wangchao.net.cn/baike/detail_2671256.html

<http://tw.myblog.yahoo.com/super4343/article?mid=1131&sc=1>

<http://fuyun.diytrade.com/sdp/340042/2/main-1513817/0.html>

<http://www.lshb668.com/index.asp>