

第四章 實驗結果

為了驗證本論文所提出之清潔機器人之導航運動控制，我們必須建立起一套自走式機器人系統實際觀察實驗的結果，本文論文採用了實驗室自行研發之移動式機器人。此移動式機器人本體所使用之運動控制卡，為本實驗室所開發之 DSP Base 雙軸運動控制卡，此運動控制具備對馬達之 PID 伺服控制。本章 4.1 節介紹了清潔機器人系統；4.2 節則是介紹我們紅外線 Landmark 的規格；4.3 節之實驗則是利用移動式機器人來作左右來回移動的清潔，此處僅用機器人上紅外線感測器來感測環境，實驗環境乃是在實驗室外的走廊。而 4.4 節則為清潔機器人有障礙物之實驗，乃是利用移動式機器人與環境中之紅外線 Landmark 來驗證清潔機器人利用紅外線 Landmark 閃避障礙物至未清潔的區域；4.5 節則將針對實驗結果作討論。

4.1 機器人系統

實驗用移動式機器人，第一層(最底層)為驅動部，由兩個直徑 5 inch (12.7cm)的膠助輪加上前後兩個輔輪以及兩個 DC 馬達組成，DC 馬達經過 19.2:1 的減速機帶動輪子運轉，每組 DC 馬達都有附一組 500 pulses 的軸編碼器(Encoder)。另外在底盤的位置部分也設計了裝電池的機構，在裝配電池之後即可讓機器人以獨立電源的方式在室內運作。

第二層為主控部，負責機器人的資料處理、運算以及控制與通訊的核心，主控電腦是採用研華公司的嵌入式電腦 PCM-9578，CPU 為 Intel Celeron -850MHz，記憶體為 128Mb；無線通訊方面採用無線區域網路 IEEE802.11b 傳輸，使用 MSB wireless LAN card，最大傳輸速度可達 11Mbps，最大傳輸距離為 35~100 公尺(室內)或 100~300 公尺(開放式空間)。

第三層為電源部，負責提供機器人所需的電源。這層有一組 DC/DC Converter：12V/5V(10A)，負責將鉛酸電池的 DC 12V 轉換為 DC 5V 提供給工業電腦使用。另外還有兩組 DC 馬達的 Servo Driver：L298，用來驅動 DC 馬達以帶動機器人行進。

第四層(最上層)為感測部，裝有一組本論文設計之紅外線發射控制模組以及 4 個紅外線發射器；紅外線發射控制模組則利用單晶片 8051 來控制 4 個紅外線發射器的發射時序，產生發射時序與訊號之後，在透過由電晶體組成之電流放大器放大電流，在將放大的電流經過 EL-1KL3 紅外線 LED 及產生紅外線。而在原紅外線 LED 旁安置紅外線接收器，負責接收反射經過障礙物反射回來的紅外線回波，由此四個紅外線接收模組可以得知是哪個紅外線模組收到訊號，因而判斷週遭物體所在。此外，在機器人前方的位置也設置一枚紅外線接收器，此紅外線接收器與其他四枚不同在於此接收器是接收紅外線 Landmark 所產生之紅外線訊號，作為解碼使用。而以上之紅外線接收訊號，會經過 8051 處理過後再透過 RS-232 傳輸線，將所處理之資料傳回到主控電腦的 Com-2 埠做為機器人之運動控制輸入依據。圖 4-1 為實驗用之移動式機器人。圖 4-2 為對應之機器人硬體架構圖。

Illustration:

1. Infrared sensor module
2. Power control module
3. Embedded IPC
4. Batteries

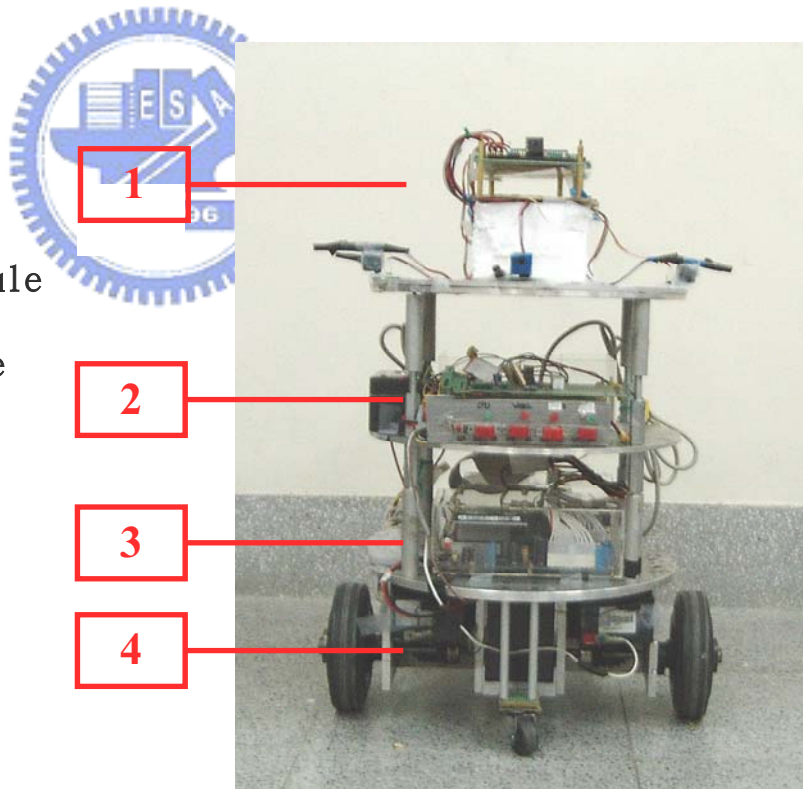


圖 4-1 實驗用之移動式機器人

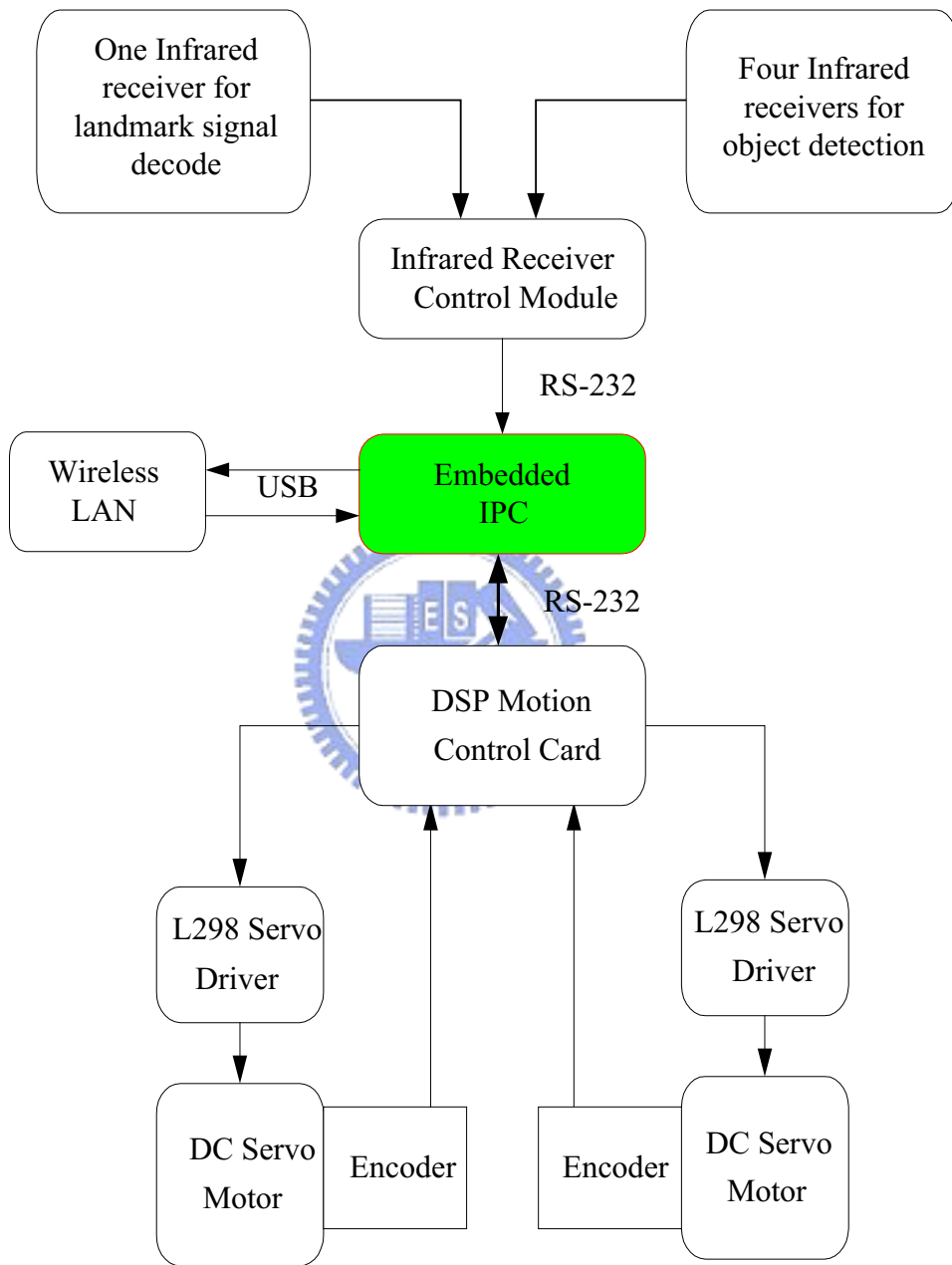


圖 4-2 機器人硬體架構圖

4.1.1 紅外線感測系統

機器人使用之紅外線感測器上有四個 IR LED，五個紅外線接收模組。四個紅外線發射元件的正下方就放置紅外線接收模組，以供接收紅外線回波使用；而另一個紅外線接收模組則放置於較其他紅外線接收模組較高之位置與電路板同高，朝向機器人的前方，接收前方之紅外線 Landmark 使用。

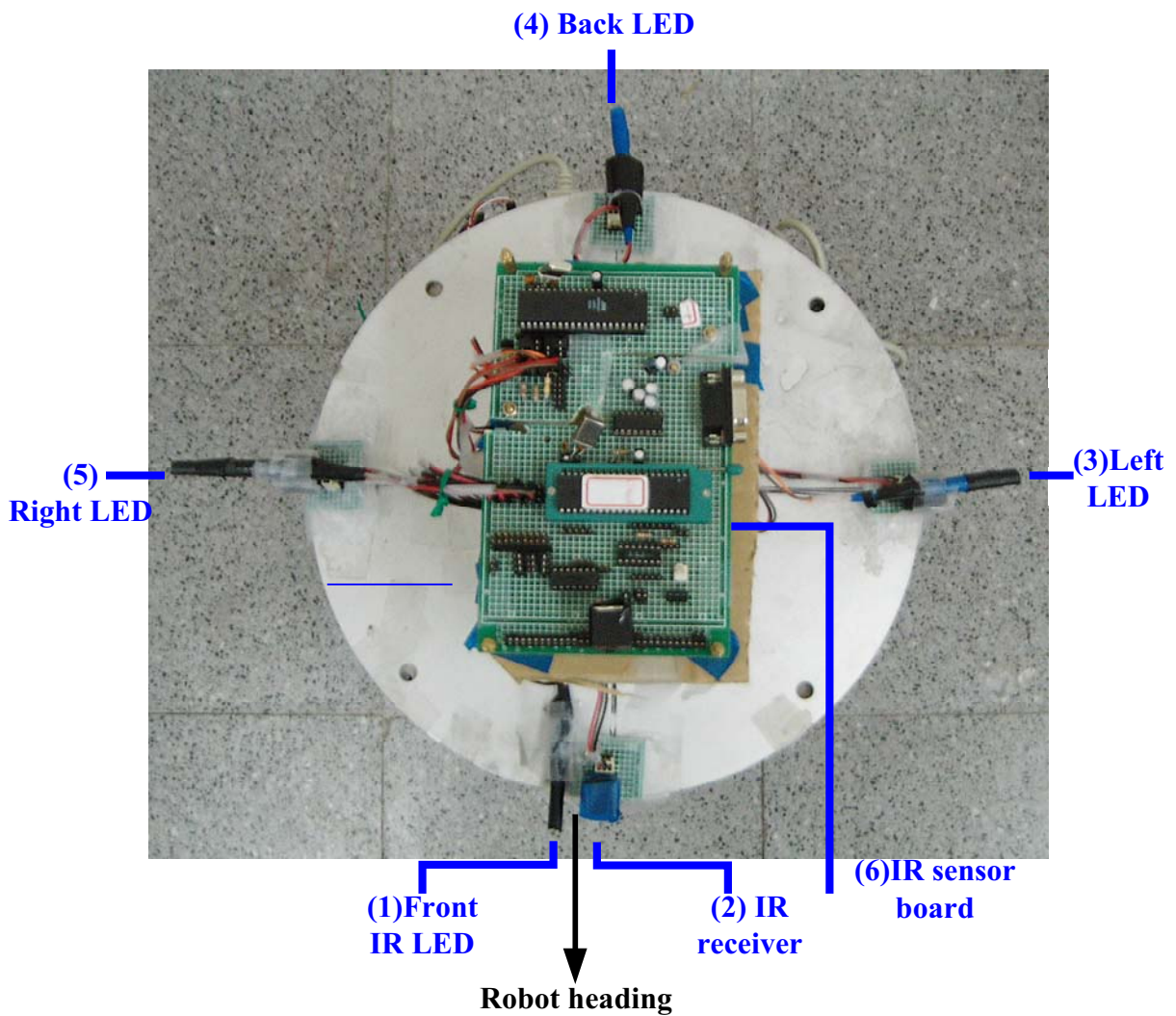


圖 4-3 清潔機器人上紅外線感測器俯視圖

圖 4-3 中，正下方為機器人前方，各元件表示為：(1)紅外線發射器 (IR LED)，(2)紅外線接收器，(3)(4)(5)分別為左，後，右方之紅外線發射與接收器位置在紅外線發射器之下方處，(6)為控制紅外線訊號電路。

發射與接收控制電路：

紅外線發射電路是由 8051 控制時脈，在透過驅動電路增強電流傳至 IR LED 發射紅外光，而其發射與接收電路兩者電源系統則是各自獨立；起因在於發射時之電流強度會影響電壓，如此一來便會造成接收電路的電壓不穩定，故因此將兩者之電源分開。接收電路則是將五個紅外線模組所收到的訊號經過處理後，透過 Rs232 傳至 IPC 做運動控制使用。

(5) Rs232 to IPC

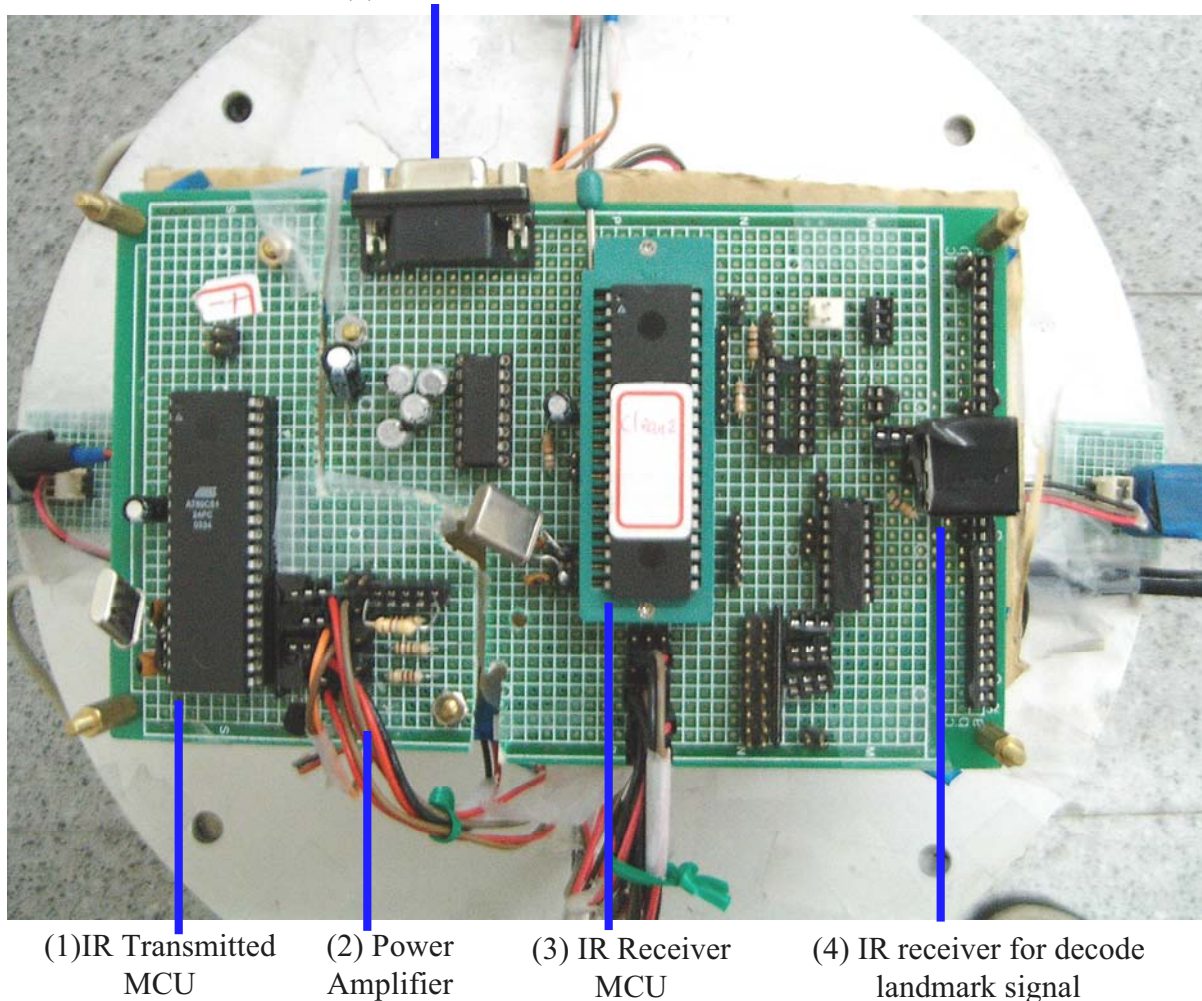


圖 4-4 清潔機器人上 8051 單晶片週邊電路

圖 4-4 所示，發射電路：(1)紅外線發射訊號主控電路 (2)紅外線發射驅動電路；接收電路(3)紅外線接收處理電路(4)紅外線接收器接收 Landmark 訊號 (5)Com port 紅外線訊號傳至 IPC。

4.1.2 馬達驅動與電源系統

H1 與 Dog 機器人之電路組織架構，目前共可分成底輪運動控制卡、工業電腦與攝影機。底輪運動控制卡可透過 RS-232 與工業電腦相連接，底輪運動控制卡為雙軸運動控制卡，故能同時控制兩個馬達。家用機器人配備有可重複充電使用的鉛酸電池。由於家用機器人上有不同的電路模組，若所有的電路接至同一個電池，則會有消耗能源過快與電源相互干擾的問題存在；例如馬達的轉動容易造成電源的諧波干擾，所以為避免電源消耗過快與干擾的問題，家用機器人使用二組電源：1.底部驅動馬達：使用之電池規格 12v 2.2Ah，由於底輪負載較大所以必須給予容量較大的電池；2.工業電腦：使用電池之規格 12v 7.2Ah，另外需要一個 DC to DC 轉換器來取的 5 伏特的電源，圖 4-5 便是顯示機器人電源的配置。

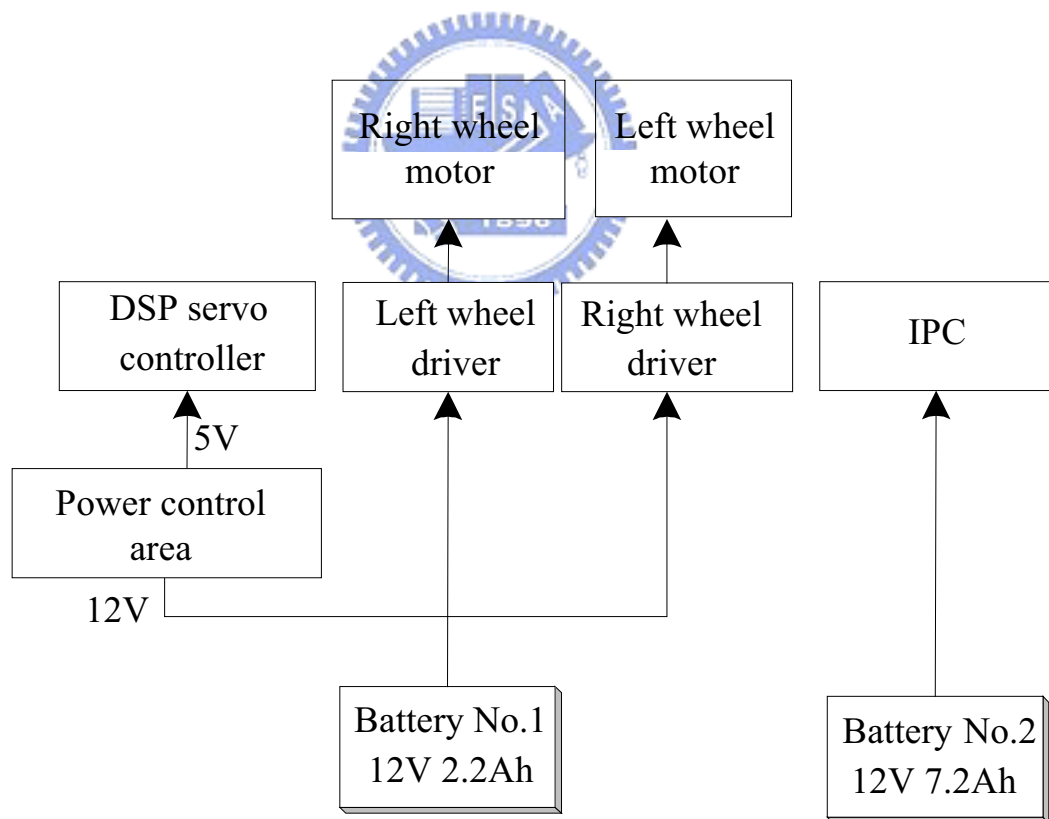


圖 4-5 機器人電源配置方塊圖

4.1.3 機器人姿態估測系統

移動式機器人行駛時，必須隨時能得到最新的姿態資訊(包括位置及指向的資訊)，根據當時的姿態資訊，才能採取適當的控制命令，使移動式機器人以正確的速度與方向正確的移動，最後才能達到預定的目的地。我們所發展的移動式機器人乃是屬於無導線導引的移動式機器人，並無環境中埋設好的導線，或是地標來導引移動式機器人的行駛。移動式機器人的行駛與定位完成需依賴移動式機器人本身的里程表(odometer)資訊來行駛與定位，里程表的資訊與實際環境如愈能符合，則移動式機器人的行駛及定位愈準確。里程表提供給移動式機器人的姿態資訊 (x, y, θ) ， (x, y) 為移動式機器人在整體座標系上的位置， θ 則表示移動式機器人目前的指向。而最基本的里程表建立方式，首先必須先知道移動式機器人初始的姿態，再利用驅動馬達的編碼器(encoder)所累積的脈波(pulse)數，來反推行駛距離及改變的角度，加上已知的初始姿態，即可知道目前的姿態。此種方式雖然簡易，但是其精確度容易受到兩驅動輪打滑而造成滑差、不平的路面造成的誤差，以及輪胎的磨損度與載重不均造成輪胎半徑的改變...等等因素所影響。里程表的計算方法如下式：

$$d\theta_e(k) = \frac{1}{W}(ds_r(k) - ds_l(k)) \quad (4-1)$$

$$ds(k) = \frac{1}{2}(ds_r(k) + ds_l(k)) \quad (4-2)$$

$$x(k) = x(k-1) + ds(k) \times \cos\left(\frac{\theta_e(k) + \theta_e(k-1)}{2}\right) \quad (4-3)$$

$$y(k) = y(k-1) + ds(k) \times \sin\left(\frac{\theta_e(k) + \theta_e(k-1)}{2}\right) \quad (4-4)$$

$$\theta_e(k) = \theta_e(k-1) + d\theta_e(k) \quad (4-5)$$

其中，

$x(k)$ ， $y(k)$ ：k時移動式機器人的座標位置。

W ：兩驅動輪間的距離。

$\theta_e(k)$ ：k時移動式機器人的指向。

$d\theta_e(k)$ ， $ds(k)$ ：移動式機器人在(k,k-1)時間內的指向與距離差值。

$ds_r(k)$ ， $ds_l(k)$ ：左右輪在(k,k-1)時間內的移動距離。

4.2 紅外線 Landmark 規格

圖 4-6 為本實驗研究所設計之紅外線 Landmark 實際電路，與機器人上之 IR LED 相同，皆使用 EL-1KL3；而紅外線 Landmark 長約 12.5 cm，寬約 7.9cm，有四個 IR LED 兩兩相對，共可以發射東、西、南、北四個方向。而其發射訊號與機器人上發射訊號不同，有自己的數位碼，而發射順序也是從下方開始逆時中順序發射，以避免彼此干擾。

圖 4-6 中，(1)(2)(3)(4)為四個方向之紅外線發射器，(5)中間為 AT89C51 單晶片產生紅外線數位訊號使用使用，左上角為 Power switch 控制電源 on-off。

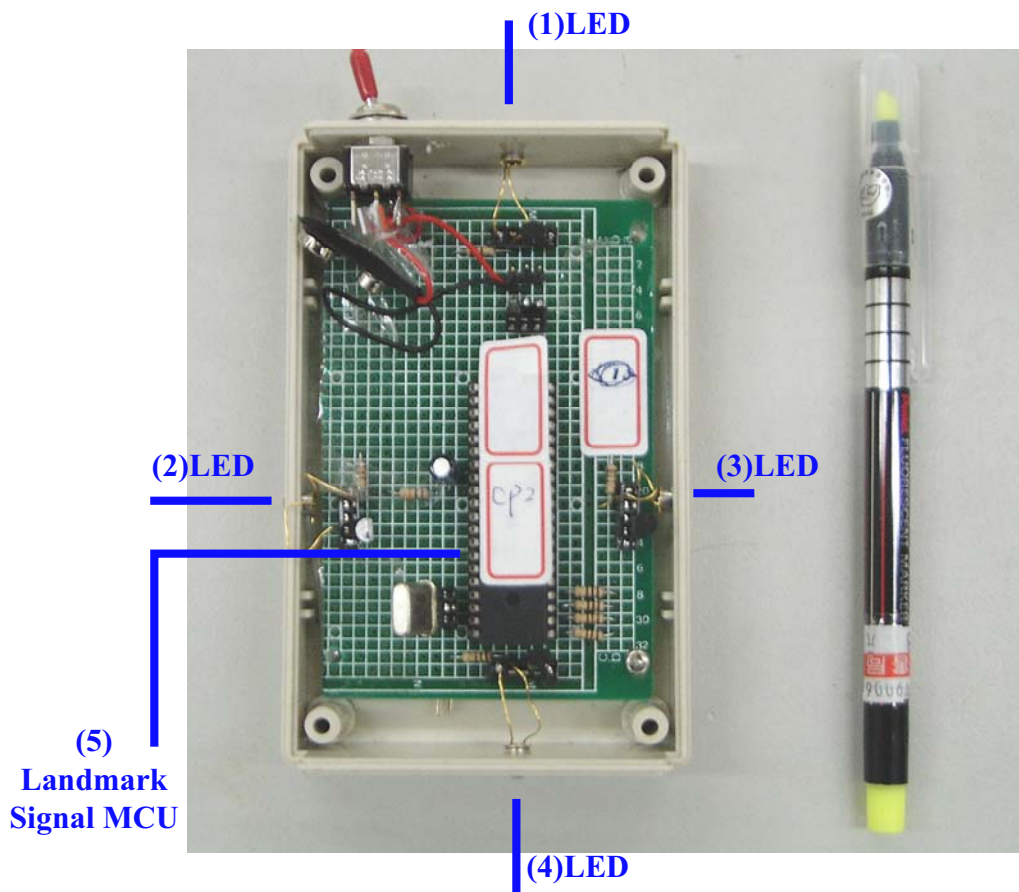


圖 4-6 紅外線 Landmark

4.3 左右來回清潔路徑移動實驗

本實驗研究所設計之左右來回移動實驗地點設於實驗室外之走廊，其主要目的在於實驗我們所設計之左右來回移動行為模式是否可行，並且測試機器人上之紅外線感測器在實際情況上使用的效果。而在實驗場景中同時放置兩個顏色不同於牆面的障礙物，用以判斷紅外線感測器對於不同材質與顏色的物體所可以感測的效果如何。

4.3.1 實驗環境



圖 4-7 左右來回清潔路徑移動實際實驗環境

圖 4-8 左右來回清潔路徑移動實際實驗畫面

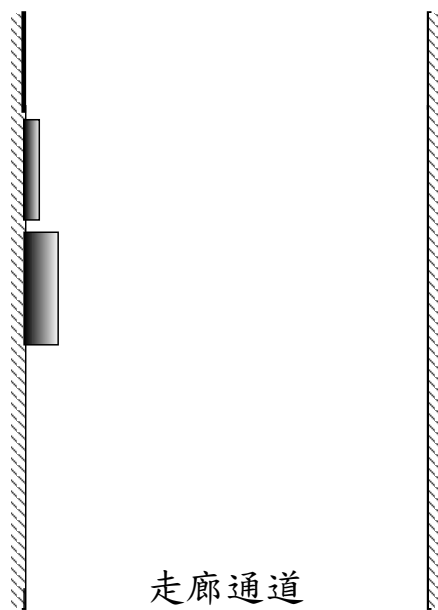


圖 4-9 左右來回清潔路徑實驗環境示意圖

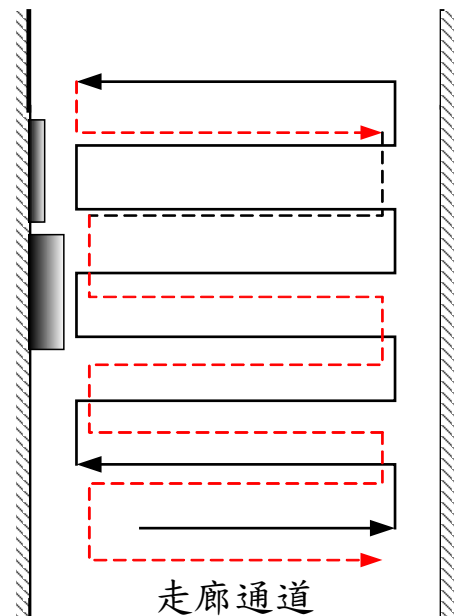


圖 4-10 理想運動軌跡

4.3.2 實驗軌跡

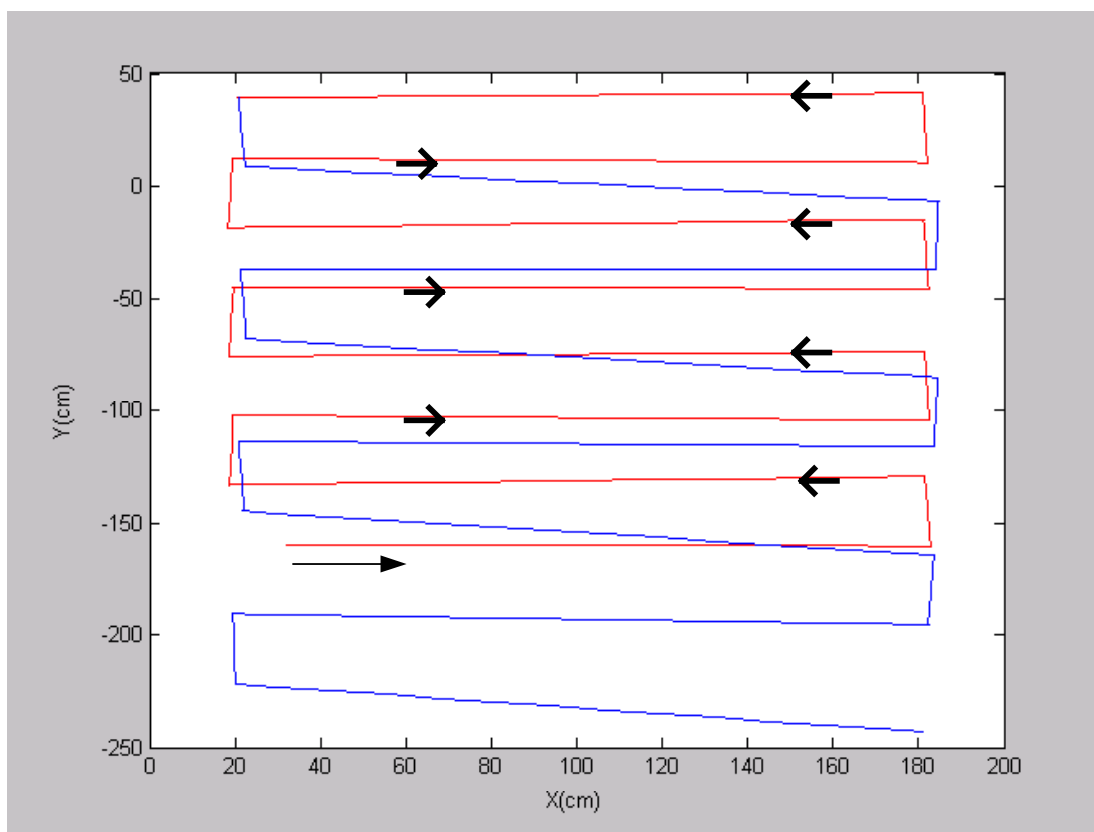


圖 4-11 左右來回清潔路徑實驗軌跡

由圖 4-11 做左右來回移動的運動，清潔機器人是由畫面中間下方箭頭的方向開始移動。首先，機器人遭遇牆壁產生迴轉的動作，由下而上共有四個迴轉，而移動至最高點時，再由上而下有四個迴轉，這四個迴轉是原先設定迴轉次數的緣故。而由圖中可以發現，機器人利用紅外線感測器對準牆面的情況不一，有些情況會提早對準約為 80 幾度，有些情況會較後超過 90 度，其可能為機器人移動至牆面時，是垂直進入牆面或者有角度偏差進入牆面不同所致，因為垂直進入牆面與有角度偏差的進入牆面其前方的紅外線感測器偵測的距離不同，其距離不同也導致旁邊紅外線感測器受到散射情況也有不一，距離較近則散射情況較為嚴重，距離較遠散射情況較輕微，散射情況將會大大影響校正的角度。利用左右來為移動若角度校正不準，行進的路徑長度也會因此有所改變，則無法達成原先設計的路徑規劃。而用軸編碼器所紀錄越到後面其誤差範圍越大，雖然可以看出他有回轉的趨勢但是其角度與距離皆有誤差，是由軸編碼器的累積誤差所導致。

4.4 紅外線 Landmark 辨識障礙物清潔實驗

本實驗研究為設計紅外線 Landmark 做為輔助清潔之實驗，在其實驗場景中間放置一障礙物，並於其上放置一紅外線 Landmark。實驗進行時，機器人會先走向障礙物，偵測至障礙物及執行左右來回清潔，等再次遭遇相同之紅外線訊號時，會產生 Homing 行為並且閃避障礙物。其實驗目的在於實驗我們所設計之 IR Landmark 是否能夠幫助清潔機器人認知環境位置以輔助機器人清潔，並且測試我們所設計的閃避障礙物與 Homing 設計在實際環境中是否可行。

4.4.1 實驗環境



圖 4-12 紅外線 Landmark 辨識障礙物 圖 4-13 紅外線 Landmark 辨識障礙物
清潔實驗環境 清潔實驗畫面

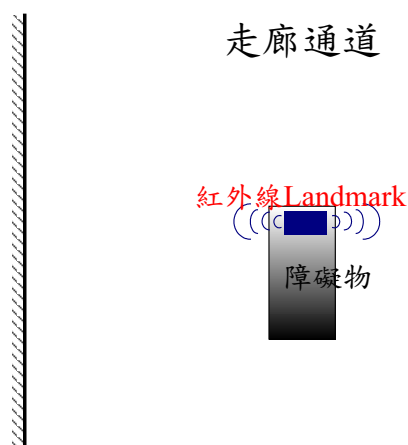


圖 4-14

紅外線 Landmark 辨識障礙物清潔實
驗環境示意圖

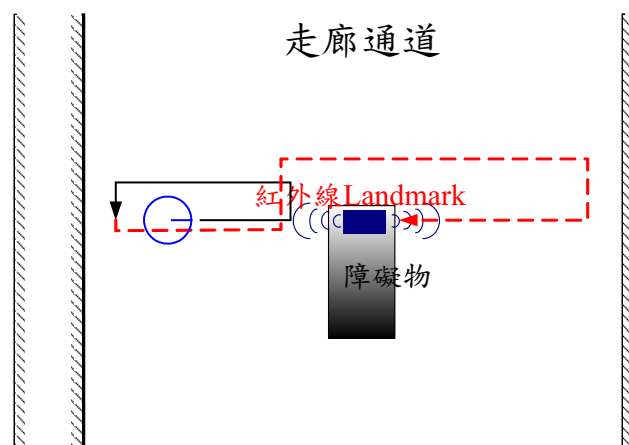


圖 4-15

理想運動軌跡

4.5 實驗結果討論

當初我們在設計論文時所提及之紅外線感測系統使用於清潔機器人導航控制，提出了兩種紅外線感測的機制—機器人上紅外線感測週遭環境及紅外線 Landmark 發射不同之紅外線訊號輔助清潔機器人辨識環境。

紅外線感測器感測環境：

1. 在清潔機器人移動時發生，前方之紅外線感測裝置將會偵測到障礙物，使得機器人前進運動命令改變，而不會發生碰撞。
2. 而在清潔機器人移動至牆壁產生旋轉命令時，左、右、後方的紅外線感測器能夠因為角度限制較為狹窄，因而校正與牆壁的角度使得清潔機器人執行沿著牆壁走的移動方式。

紅外線 Landmark 輔助環境清潔：

1. 在清潔機器人清潔的途中，於障礙物上放置的紅外線 Landmark 會產生不同之紅外線訊號，使得機器人能夠辨識其訊號以移動至未清潔過的區域。
2. 利用紅外線 Landmark 的訊號，我們可以讓清潔機器人移動時，校準於紅外線發射器，使之移動至紅外線 Landmark 附近，藉以引導機器人之移動。

在左右來回清潔路徑移動實驗當中，四個方向的感測器所能感測的距離不能相差太大，否則反射波的散射情況亦會有所不同；通常若是距離較遠，則散射情況較小，校正的情況較好；但若前方之感測器距離障礙物較近，則其他三方的就會較容易收到散射之回波，則將更不易垂直於牆面，但是若是距離太遠，其他用來校正角度的感測器就無法收到訊號，調整各個方向的紅外線感測器的長度以及角度大小用以增加其穩定度則是此感測器能否成功的要素之一。

此外，在側邊紅外線感測器對準牆壁校正角度之實驗中我們可以發現，其修正的角度無法至 90 度垂直，其亦是因為紅外線角度雖然有限制，

但是因為紅外線感測會有不規則角度的光線散射現象所致，這為何在 80 幾度就收可以到紅外線訊號的原因。而事實上我們在幾次實驗過後，我們試圖想要調整紅外線角度以期能夠垂直於牆面而達成真正紅外線對準校正，但是實際上若真正調至 90 度，就會有收不到紅外線訊號的情況發生；除此之外，無法真正的符合每一個牆面的顏色以及材質，亦為應當注意之處。

而在紅外線 Landmark 辨識障礙物清潔實驗當中，我們知道清潔機器人在回頭清潔的時候偵測到第一次經過的紅外線 Landmark，而清潔機器人 Dog 偵測到紅外線 Landmark 時，如同前面所說一般，他先進行 Homing 的動作以求對準 IR Landmark，但由於其是在於 Forward move state，因此在他 Homing 完後的動作將會是先左轉再走一段我們已經設計好的長度之後再右轉，如此才可以閃避過這個障礙物。

加入 Homing 的原因如同之前所說，由於左轉之後再走一段已經設定好的距離，如果沒有對準紅外線 Landmark，我們所設定好的距離就恰好不會閃過這個障礙物；也因此如果要成功閃過障礙物，對準 IR Landmark 的行為就顯得相當重要，如果對不準或者太接近，便都會造成無法閃避的狀況，或者無法正確地繞到紙箱的後面。而事實上紙箱的顏色與牆壁的顏色不同，此大大影響我們實驗的完整性，因為偵測距離的不同會使得其他用以校正角度的感測器接收到的角度不同因此，其角度變化相當大，因此環境中各個不同物體的顏色對於校正角度的影響是我們要考慮的重要因素。

由左右來回清潔路徑移動實驗與紅外線 Landmark 辨識障礙物清潔實驗的結果發現，本論文所提出之基於紅外線感測器之導航設計(Navigation Design of a Cleaning Robot Navigation)是具有其可行性的，經由清潔機器人上的紅外線感測裝置，的確能感測到前方的物體，並且校正於牆面以達到左右來回移動的移動行為；此外，使用紅外線 Landmark 更可以幫助清潔機器人了解自己所在之位置，提供其對於清潔區域了解的協助，完成整體地面清潔。換句話說，本系統確實能有效地使用紅外線感測系統以幫助機器人執行環境清潔的工作。而在環境地圖辨識方面，也證實了我們採用 IR Landmark 的實用性。

在實驗中，對於我們所設計的紅外線感測器與清潔機器人導航設計，有幾個值得探討的問題：

1. 採用紅外線感測距離時，感測器常常會因為光線、燈源、環境的明暗變化，或者實際的反射物顏色而使得感測資訊造成誤差，若要偵測的距離越長，則此一不確定性將會越顯著。

2. 我們利用紅外線 Landmark 所產生的不同訊號，同時也造成環境有紅外線干擾的存在，這將會使得對準紅外線校正，或是感應前方紅外線的感測器亦會偵測到紅外線的情況，進而產生錯誤的運動命令。此不確定性雖然在設計當初已經有預料，且也將紅外線 Landmark 放置於較高位置，而欲使其他的非解碼紅外線感測器偵測到，但是實際上還是會存在此一問題；因此在電路之設計上應可將解碼的紅外線接收器與偵測障礙物的接收器採用不同的模組，以避免此情況之發生。

