

2026 ICEET

第十五屆 數位學習與教育科技國際研討會
International Conference on E-learning and Educational Technology

智慧教育×永續共榮

論文集 PROCEEDINGS



**自主移動機器人設計：
利用多路紅外線感測器實現 PID 穩定循跡**

**Autonomous Mobile Robot Design: Achieving PID Stable
Tracking Using Multiple Infrared Sensors**

周芑田 曾竑翔

YUAN-TIEN, CHOU HONG-XIANG, ZENG

義守大學 電子工程學系 學生

I-SHOU University Department of Electronic Engineering Student

E-Mail: aabb23cc9200@gmail.com

摘要

本文探討循跡機器人因為感測器數量，判斷路徑時常有「死角」，導致在過彎時容易丟失目標。為了追求穩定度，我們設計了一款搭載 8 路紅外線感測器的機器人，將原本的循跡過程給拆分。

我們透過 8 顆感測器的整合，能精準的偵測黑線位在車身底部的具體位置，而不是只有「左」或「右」的模糊判斷。結合 PID 控制演算法，我們能針對微小的偏差進行即時校正

實測後發現，8 路感測器搭配 PID 讓機器人在直線時能夠更為穩定不會搖晃，在面對連續 S 型變換路徑時，轉向動作比傳統感測器更為絲滑，進而減少了因慣性而脫軌掃描路徑失誤的機率。這項實驗證明了高解析度感測配置與控制演算法結合後，能大幅提升機器人的移動性能及穩定度。

關鍵字：紅外線感測器、PID 演算法、高解析度循跡、運動穩定性

Abstract

This study addresses the issue of "blind spots" in conventional line-following robots, where a limited sensor count often leads to target loss during cornering. To achieve superior stability, we developed a robot equipped with an 8-channel infrared (IR) sensor array, fundamentally refining the path-tracking process. By integrating data from eight sensors, the system can precisely pinpoint the black line's position beneath the chassis, moving beyond vague "left-or-right" binary logic. Coupled with a PID control algorithm, the robot executes real-time corrections for even the most minute deviations. Experimental results demonstrate that the synergy of an 8-channel configuration and PID control significantly enhances straight-line stability by eliminating oscillations. Furthermore, when navigating continuous S-curves, the steering response is notably more fluid than traditional setups, effectively reducing the risk of inertia-induced derailment. This experiment proves that the integration of high-resolution sensing and advanced control algorithms substantially improves a robot's mobility and motion stability.

Keywords: Infrared Sensors, PID Algorithm, High-resolution Tracking, Motion Stability

壹、前言

一、研究動機

隨著自動化與人工智慧的快速發展，在各種企業上對於工作效率上的需求逐漸增加，取代傳統人力的機器人更是開始成為其中的發展核心。機器人的型態隨著時間推進下也演變出了非常多元，其運動方式因應不同要求也有不同的方式進行。於機器人領域上，在進行完美運行自動導航、路徑規劃、避開障礙物等情況的基準，在於從循跡角度出發的流暢度，而感測的精準度更是與循跡息息相關，單一紅外線感測器雖簡單，可是在速度提高或是外在環境影響下，失的情形可能會增加，也正是因為如此，才要探討在多路感測器下搭配 PID 控制器，達到最為穩定的循跡模式。

二、研究目的

- (一)理解基礎 PID
- (二)學習簡易程式
- (三)未來將其利用於專題

貳、文獻探討

一、PID 基礎理解

(一)PID 其英文代表比例(Proportional)、積分(Integral)與微分(Derivative)。

(二)各自英文所代表內容

比例控制(P)：根據偏差大小立馬反應。偏差越大，輸出越大。

積分控制(I)：累積過去的偏差，消除長期誤差。

微分控制(D)：預測偏差變化，提前減緩震盪。

PID 公式為

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

PID公式

(圖一)

參數定義：

$u(t)$	輸出
$e(t)$	當前誤差值

t	當前時間
K_p (比例)	反應當前偏差，值過大會導致車身抖動。
K_i (積分)	修正長期累積偏差，通常在高速循跡中設置較小，避免超調。
K_d (微分)	反應偏差變化趨勢，預測誤差並提前修正，提高穩定性。

二、Line Follower Array 八路矩陣循線循跡模組 SparkFun 原廠

(一)SparkFun 循線陣列是一個長條形電路板，由八個紅外線感測器組成，這些感測器被配置為讀取數位訊號！我們設計的 SparkFun 循線陣列能夠沿著淺色背景上寬度約為 $\frac{1}{4}$ 英吋或更窄的深色線條（行進）。每個陣列都配備了可見的 LED 燈，當電路板正確安裝後，LED 燈會向上照射，以便您查看機器人的視野。此外，電路板上還設有亮度控制按鈕，以及用於讀取資料和電源控制的 I²C 介面。

這款循線器透過讀取 8 位元反射率資料來運作，用於循線或識別明暗圖案，有效探測距離約為 $\frac{1}{4}$ 到 $\frac{3}{4}$ 英吋。紅外線亮度控制和指示燈可透過板載電位器調節，並顯示紅外線 LED 的強度。照明可透過軟體開啟或關閉以節省電量，也可始終開啟以加快讀取速度。SparkFun 循線器陣列需要 5V 電源，在停用頻閃功能時，供電電流範圍為 25-185mA；啟用頻閃功能時，供電電流範圍為 16-160mA。此外，循線器上增加了六個安裝孔，其中兩個內側孔專為我們的 Shadow 底盤設計，其餘四個孔為通用孔。

二、優缺點分析

為何 PID 廣泛應用於工程控制，因其簡單、穩定、易於實作。只需三個參數即可控制大多數線性系統。其問題與挑戰，參數沒調好時可能導致震盪或延遲；對強非線性系統需要進行額外補償。而會選擇八路感測器是因為其有 8 個感測器眼和 I²C 介面，能透過旋鈕隨時調整紅外線亮度，還有能透過軟體控制紅外線開關、視覺指示器的開關、反轉明暗視覺等優點。但缺點是易受環境光與材質干擾、使用門檻與複雜度較高以及價錢較高。

參、研究實施與設計

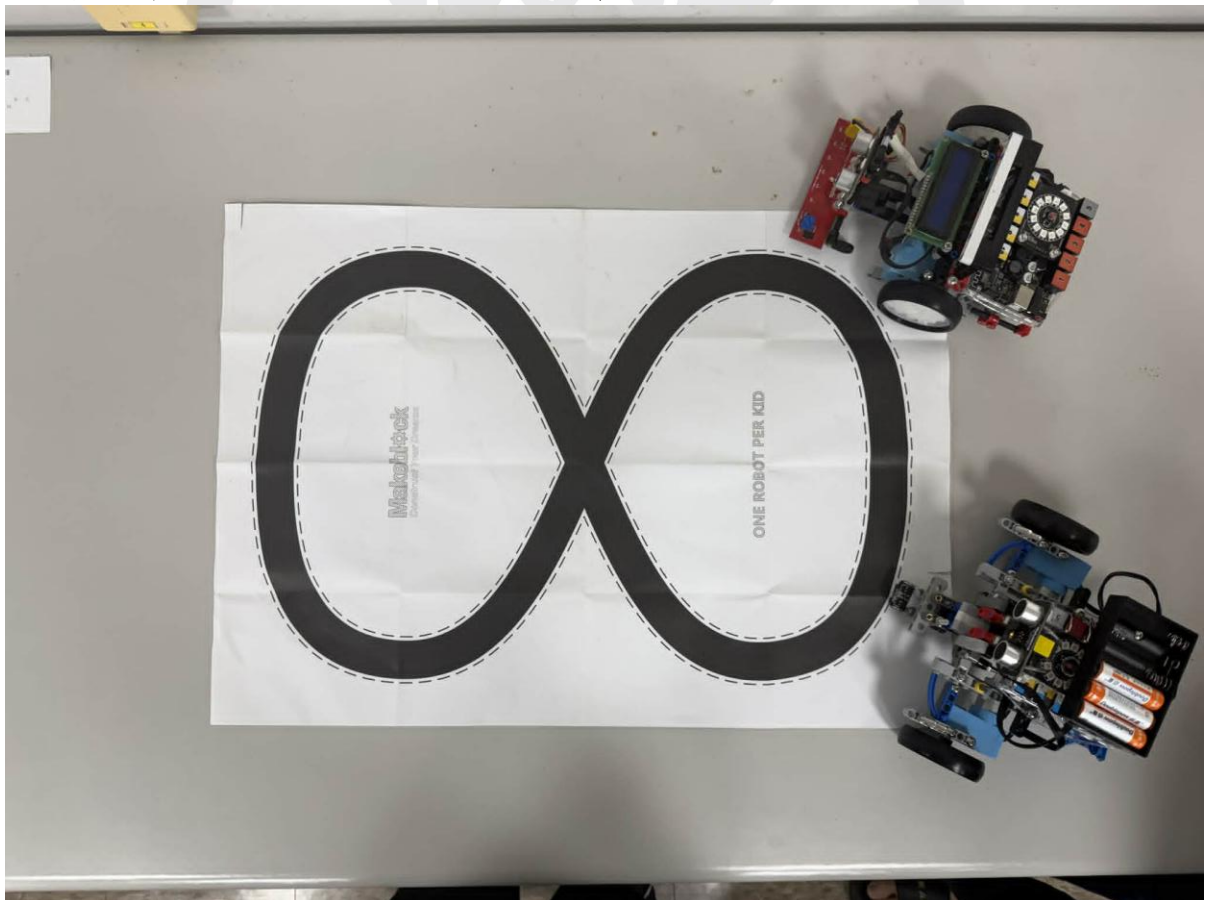
一、研究方法

我們所要設計的機器人為三輪式的自走車，在其中的基礎也就是整體車子的構造，為了能讓車子能夠以最為穩定和靈活的移動，車體上的重量、重心上的集中，整體車子的架構，也決定了後續車子能夠穩定且迅速的移動。

在以上機器人的結構設計上，首先要先把機器人的重量給輕量化，但太過於輕量化可能會導致車體重心在轉向時遇到抓地力不足打滑，所以重量也不能太輕。原先是採用四輪型的結構，但後面發現會因後輪的摩擦力而產生轉彎不流暢的情形。所以我們參考老師建議，將後輪改為單一輪，減少其產生的偏移，以追求轉彎角度的精確，以及增加感測器能追蹤的範圍，才不會因角度偏差而偵測不到。硬體部分有個全貌再從軟體，也就是 PID、程式微調上進行整理，並觀察紅外線感測器帶來的影響。

二、研究設計

在設計上利用八字型的循線地圖當作主要跑道，在基礎的左右彎道上進行測試，先利用八路紅外線感測器循線再使用 PID 控制，分為二路、四路及八路，統一使用初步設計的 PID 基礎參數，觀察循跡轉彎的穩定度。下圖為場地圖。



(圖二)

感測器路數	使用方法	控制特性和效果
兩路	啟用兩路感測器	只有左、中、右三種狀態
四路	擷取八路感測器中的四路	區分輕微偏離與大幅偏離
八路	啟用八路感測器中的所有通道	訊號極高可分 9 階以上誤差值

三、研究工具

- (一)Mbot
- (二)mblock
- (三)PID
- (四)八路紅外線感測器
- (五)場地圖

肆、結果與討論

一、討論

(一)車體的選擇:原本的 mbot 機器人是以前 4 輪為整體移動，用現實中的車體進行模仿而設計而成。但後面我們選擇以三輪進行移動。原因如下:

1. 角度的移動:

四輪雖然為常見款式，但他的旋轉半徑偏大，無法如三輪以小幅度偏差來微調。

2. 車體的配重:

車子如果想要旋轉穩定，其配重以輕量為優先，旋轉時才不會因其過重產生而產生大量偏移甚至導致翻覆。

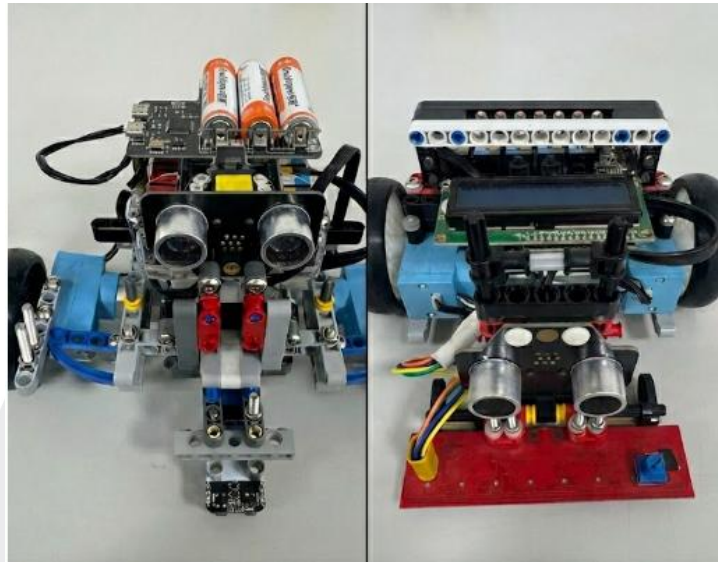
(二)為何是使用 PID 而非原本裡面配置的:

因為原本內部的感測器過於少量，導致其轉彎並不順暢。而如果需轉彎順暢，需慢慢於程式中調整其角度，過於耗時耗力。故後面選擇以 PID 來進行，利用其多傳感器來進行即時內部的調整，才可省時省力來調整 mbot 其他所須參數。

(三)循跡 P、I、D 極少部分使用 I

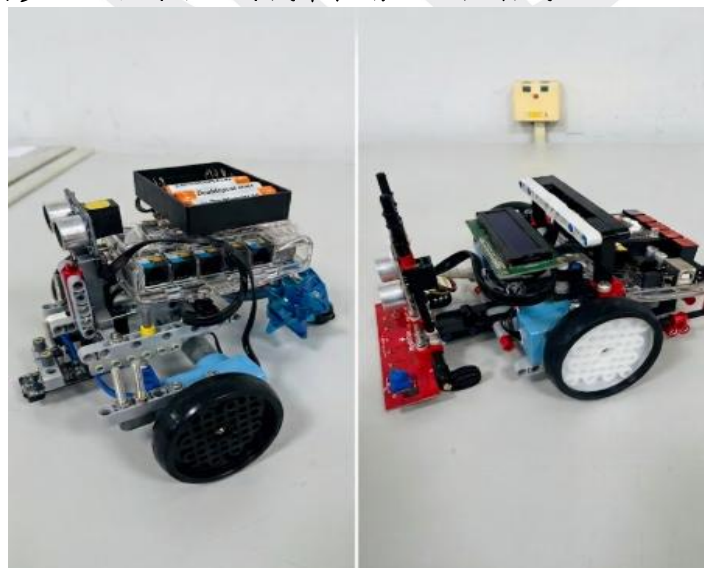
在實際循跡控制中，因為每次循跡的位置與場地都有所不同，系統必須即時回報路徑上的變化，積分項（Integral）的主要功能是消除靜態誤差、累積過去的誤差，所以多半只使用比例與微分控制（PD 控制），避免因為積分控制帶來反應變慢的問題。

二、結果



（圖三）

左圖為初試原型機，測試時有發現其前方偵測有時會有轉彎轉過去，但只要兩個感測器因轉彎幅度過大，兩邊跑出去就偵測不到了，會一直原地旋轉找不到。右圖為二號機，我們改為 8 路感測器進行測試，並進行 2 路、4 路、8 路進行跑圖測試，而跑圖最直觀的感受就是其轉彎的流暢度，2 路較容易出現問題，4 路偏離不會較 2 路那麼多，8 路偏離地的機率較前面大幅縮減。



（圖四）

兩圖都採用三角結構，讓其轉彎更加流暢，但左圖的整體結構積木太多，雖然輕量，但整體連接不穩會有搖晃的問題，且前面感測器離地太高有時會偵測不到。而左圖有使用鐵架作為主體，並用積木輔助。主體比前者穩定，且感測器離地距離適中，不會有偵測不到的問題。

伍、 未來展望

隨著自動化技術與人工智慧的快速發展，自主移動機器人在各領域的應用將越來越常見。而我們透過八路紅外線感測器結合 PID 控制 MBOT，讓其有效提升循跡穩定性與精準度，而我們未來並不打算止步於此，而是有更進一步發展：

1. 在感測技術方面，打算結合多元的感測器，如超音波感測器、視覺鏡頭等，讓機器人不僅具有循跡能力，也能同時偵測障礙並進行避障與環境辨識，讓它提升自主巡航能力。
2. 在控制程式上，未來會努力學習並應用 MATLAB&SIMULINK 等工業級的自主調適程式，讓機器人能根據不同環境自動調整數值，減少人力調整 PID 參數的時間成本，並提升自主適應性與智慧化程度。
3. 在硬體設計上，進一步調整車體結構，希望能採用更穩定的底盤設計，以增強機器人在高速運行下的穩定性與耐用性。

總而言之，本文僅為自主移動機器人發展的基礎，未來透過感測、控制與應用層面的整合，將有機會發展出更智慧化且高效率的自主移動系統

參考文獻

一、 中文部分

1. 【2025 ESP32】PID 控制完整教學：原理、公式與實際應用案例。上網日期：2025 年 9 月 28 日，檢自：
https://aiotbrian.com/learning-esp32/pid_control/
2. 維基百科—PID 控制器。上網日期：2026 年 1 月 28 日，檢自：
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/PID%E6%8E%A7%E5%88%B6%E5%99%A8>
3. What Is PID Control? | Understanding PID Control。上網日期：2018 年 5 月 22 日，檢自：<https://www.youtube.com/watch?v=wkfEZmsQqiA>
4. 【演算法：PID】相見恨晚 PID 控制器完整介紹：從概念到參數調整全攻略 | PID Control Tutorial: From Concepts to Parameter Tuning，上網日期：2025 年 4 月 20 日
5. 蔡豐珍(2014)單一光感應器自走機器人循跡效率之研究。未出版之碩士論文，國立高雄師範大學工業科技教育學系，高雄市，檢自台灣博碩士論文知識加值系統。
6. 林資捷(2013)利用單一感測器掃描法和危險區域偵測法執行自走車的避障。未出版之碩士論文，國立成功大學航空太空工程學系碩博士班，臺南市，檢自台灣博碩士論文知識加值系統。
7. 張郡庭(2021)掃描二進制條碼之高速循跡自走車。未出版之碩士論文，私立義守大學智慧科技學院電子工程學系，高雄市，檢自：airitilibrary

二、 英文部分

1. SparkFun Line Following Array。Date Accessed: 17 October 2015
https://www.youtube.com/results?search_query=SparkFun+Line+Following+Array

