

大開眼界-機器人影像與對位系統評估

An Eye-Opening - An Assessment of Robot Vision and Registration System Between GPS Sensor and Vision Sensor

黃昱誠¹ 鄭景元¹ 黃昭銘^{2*}

HUANG, YU-CHENG¹ CHENG, JING-YUAN¹ HUANG, CHAO-MING^{2*}

1 國立宜蘭高級中學

1 National YiLan Senior High School

2 宜蘭縣宜蘭市中山國民小學教師

2 Jhong-Shan Elementary School Teacher

E-mail : stanely503@gmail.com

* Corresponding Author

摘要

影像對位(Image Registration)為重要影像處理工具，目前已經廣泛運用各個領域，從影像醫學偵測與診斷、工業製造、品管檢測、臉部辨識都是電腦對位的應用。本次研究將探討機器人影像對位，分別透過不同影像感測器來擷取外部影像資訊，透過對位系統進行目標物瞄準。在準確性分析研究發現感應器的 Cpk 未達 1.33。此外，分析過程中發現 Vision sensor 的 Cpk 值高於 GPS，顯示 Vision sensor 在影像對位準確性表現性上優於 GPS。透過感測器觀察外界影像資訊，結合機器學習與演算法，提高辨識率及時提供行車資訊，提高道路安全與成員安全。

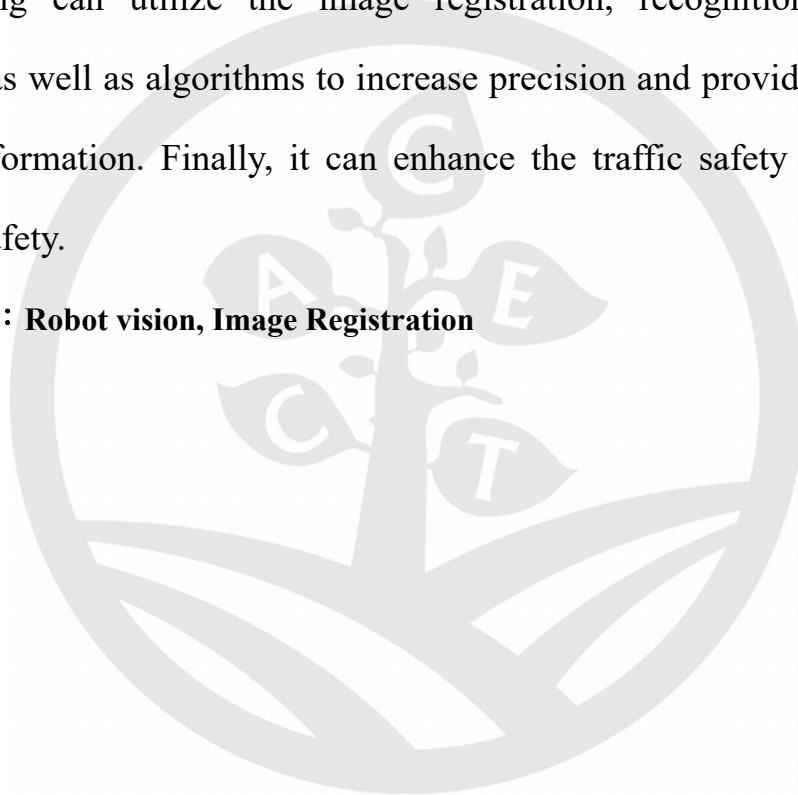
關鍵字： 機器人影像、影像對位

Abstract

Image Registration is one of the most important tools in image processing. It has been applied to various realms, including medical image detection and diagnosis, industry production, quality check and facial

recognition. This study tries to explore the aiming performance of robot's by means of image registration with two different sensors in capturing images. In the aspect of precision, it reveals that the Cpk value is less than 1.33. Comparing vision sensor and GPS sensor indicates the vision sensor has higher Cpk value than GPS sensor. The vision sensor might have better performance than GPS sensor in image registration. In the future, the self-driving can utilize the image registration, recognition machine learning as well as algorithms to increase precision and provide real-time traffic information. Finally, it can enhance the traffic safety as well as driving safety.

Keywords : Robot vision, Image Registration



壹、前言

近年來最熱門的新聞就是「人工智慧聊天室」(Chat Generative Pre-trained Transformer，簡稱 ChatGPT)，透過 OpenAI 所開發人工智慧聊天程式，讓人工智慧(Artificial Intelligence,簡稱 AI)議題再度受到重視。ChatGPT 主要是大量預先訓練的方式提高 AI 對語言的理解(曾子軒，2022)。相較 ChatGPT 在文字方面的表現，其實電腦影像(computer vision)運用在資訊應用上更為廣泛，從醫院的核磁共振(MRI)、手機的人臉辨識、超商與超市收銀機前的 QR code 讀取辨識、工業生產影像對位(Registration)、產品品管到 AI 影像辨識都是透過電腦影像進行資料讀取或是進行深度學習的資料庫。

一、研究動機與目的

本次研究計畫的動機主要是來自先前線上觀賞的 VEX 機器人競賽，影片中發現有一組機器人透過感測器來偵測目標相對位置，在比賽中機器人可以針對目標物的位置進行調整與瞄準，並將得分物件投入得分區域，近一步了解之後發現是利用影像感測器來完成這個任務。此外，先前的比賽也有透過 GPS 感測器進行定位並控制機器人移動位置，這兩種感測器都是透過影像辨識的方式提供資訊。

本次研究主要是透過結合機器人零件設計底盤結構，透過不同的影像感測器(影像感測器與 GPS 感測器) 與移動速度來收集數據進行對位與分析，並結合 PID 自動控制軟體編程，針對不同影像感測器提供的數據回饋進行反應評估，針對兩種感測器(影像感測器與 GPS 感測器) 影像對位準確性進行分析。

貳、文獻探討

本次計畫主要是透過機器人零件組裝底盤，並安裝兩種機器人影像感測器，不同移動速度，透過 PID 自動控制程式編程，評估影像對位準確性與反應時間。

為詳細說明本次研究目的，以下將先針對本次計畫所涉及的領域:電腦影像、PID 自動控制與 VEX 機器人底盤設計三分面進行介紹。

(一)、機器人影像(Robot Vision)

機器人影像可以說是電腦影像(Computer Vision)所涵蓋的範圍之一，依照 Nat and Friends (2017)介紹電腦影像的發展可以追溯到 50 年前，基本的應用就是利用攝影工具讀取、收集分析影像資料，例如到超商購物產品上面的條碼、發票上面的 QR code、以及 AI 對於所看到的影像進行辨識等都是電腦影像的應用範圍(NVIDIA,2022)。

電腦影像的解讀可以分成四個方式(Nat and Friends, 2017)，分別為 1. 辨識 (Recognition)、2.重建(Reconstruction)、3.對位(Registration)、4.重組(Reorganization)

辨識 (Recognition)主要是透過所擷取的物體影像進行分辨，例如辨識照片上的植物種類、動物種類。

重建(Reconstruction)主要是利用 2D 影像透過演算法轉換成 3D 立體圖，例如 Google Map 或是 iPhone 上地圖 app 不但提供 2D 影像，還可以提供 3D 立體圖，這些都是影像重建的應用。

對位(Registration)主要是利用追蹤或校正不同的影像，透過比較兩個來源不同的影像，例如車道偏移系統就是利用對位方式追蹤馬路上的分隔線，電腦透過過程式比較前、後照片，一旦偏移可以提醒駕駛人注意(Zitova', Fusser, 2003)。

重組(Reorganization)這個方式比較像似讓電腦自行學習，建立認知概念，舉例來說我們目前在辨識功能主要讓電腦收集特定的圖案，然後遇到新的影像電腦便從資料庫進行比對然後進行辨識功能，特定圖案的定義取決於操作者的認知，

未來電腦影像應用的範圍會加深與加廣，例如在自駕車的發展(施吉昇、黃福銘，2021)、醫療範圍的應用，在未來醫師可以透過遠端影像對位功能協助，追

蹤病人生理狀態與變化，透過影像對位比較健康影像，辨識出病灶與區域，然後對症下藥，進行早期治療提高治癒率(Mani, & Arivazhgang, 2013)。

在孫學宏、張文聰、唐冬冬(2021)書本內容針對機器視覺應用在工業生產方面舉若干範例介紹，例如 CNC 手機殼對位加工，手機後蓋尺寸測量，這些都是利用機器人影像對位功能來完成。

(二)、PID 控制

1.PID 控制介紹

何謂 PID 控制?PID 控制已經深入到我們的生活之中，凡舉冷氣機恆溫控制、熱水器定溫加熱或是無人機高度設定盤旋(hovering)都會運用到 PID 自動控制。一般來說 PID 就是將三種不同自動控制方式結合的簡稱，分別是 P 代表比例控制(Proportional control,簡稱 P 控制)，積分控制(Integral control,簡稱 I 控制)和微分控制(Derivative control,簡稱 D 控制)，而每種控制方式都有不同的運作方式跟用途，這些自動控制會以 P 控制為核心，然後可以分別加入 I 控制、D 控制形成 PI 控制與 PD 控制或是三者同時使用形成 PID 控制。以下將舉幾個簡短的例子來幫助了解。

(三)、VEX 機器人底盤設計

在 VEX 機器人底盤設計部分主要針對兩個部分進行說明，分別是機器人底盤(Drivetrain) 與外部感測器兩個部分來說明。

1.機器人底盤(Drivetrain)

機器人比賽中機器人最基本的功能就是需要具有移動的能力，在 VEX V5 網頁中針對常用底盤驅動結構(Drivetrain)進行初步介紹，以下將針對常用五種 drivetrain 包含：1.Standard drive、2. X drive (Holonomic)、3. H drive、4.

Mecanum、與 5.Track Drive 進行說明。以下我們引用網頁資料與先前研究

[Anonymous, 2022]所製成表 1 進行簡單比較。

表 1.不同底盤驅動結構比較表

	Standard Drive	H Drive	Mecanum	X drive Holonomic	Track Drive
最少使用馬達數	2	3	4	3	2
多向移動性	無	有	有	有	無
要求程式編寫能力	初級-中級	中級	高級	高級	初級-中級
避免橫移能力	萬象輪-差 一般輪-佳	普通	優異	普通	佳
克服路障性	佳	差	好	普通	優異

透過表 1 可以了解每一種驅動底盤的最小馬達需求數、是否具有橫向移動的能力、是否需要透過程式撰寫能力完成驅動設定、當底盤遇到側向撞擊時是否容易導致底盤橫移現象產生以及克服路面凹凸或是障礙物的能力。

2.外部感測器

本次研究所使用的感測器主要著重兩種以影像擷取的外部感測器，一種為視覺感測器(Vision sensor)，另一種為 GPS 感測器(GPS sensor)。視覺感測器可以同時辨識 7 種色彩、可以判斷物體的位置，透過 X 座標可以掌握物體左右相對位置(周偉謨 & 沈育如,2012)。透過視覺感測器協助可以讓機器人精準算出感應器與目標物的距離與目標物尺寸，依據這些數據調整機器人的任務表現。

GPS 感測器主要也是透過讀取比賽場地預先印刷在場地圍欄上面的 GPS code，透過這些影像轉換相關數據，提供機器人辨識在場地的座標位置，協助機器人定位與移動的參考。由於本次研究嘗試在市內進行資料收集，因為無法使用衛星 GPS 訊號，所以透過 VEX 所生產的 GPS 感測器讀取場地條碼間接提供場地座標訊號來模擬 GPS 定位的功能。

本次研究將利用視覺感測器與 GPS 感測器，視覺感測器(Vision sensor)為目前為常用的機器人視覺應用的影像資料來源，為了模擬 GPS 定位所以採用 VEX

GPS sensor 與場地的 GPS code 模擬 GPS 定位功能，透過這兩種感測器來偵測目標物，依照相關訊息進行進行調整，提高命中率。

(四)、總結

本次研究目的主要利用機器人結構與兩種不同感測器探究機器人針對目標物進行影像定位進行瞄準紀錄準確性表現。

本次研究的問題可以區分兩大類，第一類為感測器的差異，本次採用視覺感測器與 GPS 感測器。兩個感測器的運作原理不同，因此探究的問題為兩個感測器在瞄準目標物的準確性分析。綜合上述說明將本次研究設計繪製成研究架構圖 1。

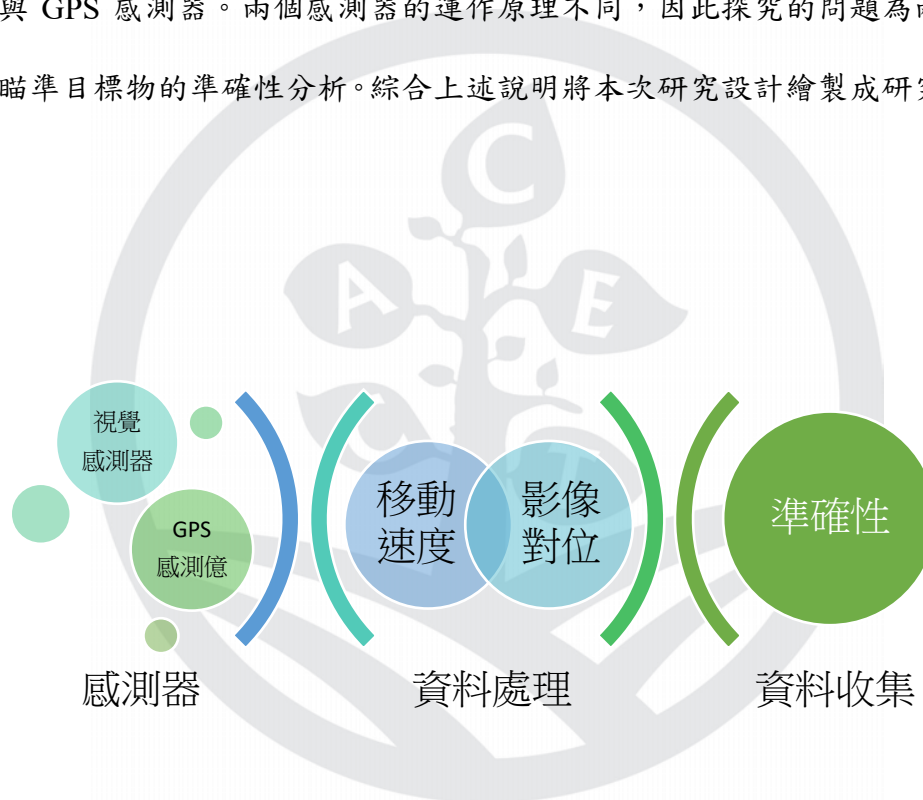


圖 1. 研究架構圖

依照圖 1 所示，與參考程光(2019)視覺技術系統，本次計畫主要計畫採用 VEX 機器人零件與兩款影像感測器組合成具有移動能力機器人(資料讀取)，影像感測器收集資料進行對位分析(對位)，GPS 感測器模擬 GPS 定位功能，並使用三種移動速度，再藉由程式編程方式撰寫 PID 自動控制程式進行瞄準目標物(調整)，針對瞄準點與靶心的座標進行影像對位表現進行分析評估。

參、研究實施與設計

本次研究的設備和器材可以分成三大類，第一類為測試場地，第二類為機器人零件，第三類為編程工具，以下將進行這三大類器材的介紹：

一、研究設備與器材

(一)、測試場地

VEX V5 的比賽場地是有固定規格的，必須使用符合大會規格的場地，大小為 12 英尺×12 英尺的正方形場地(圖 2 所示)。

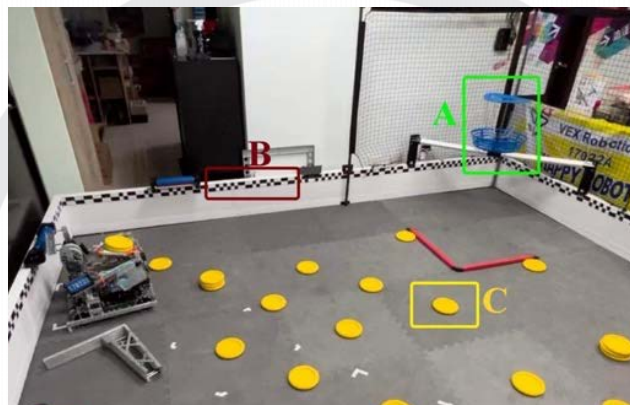


圖 2.研究場地

圖 2 顯示除了場地示意圖外，場地上已經安裝今年比賽主題 Spin Up 相關的套件分別為綠色框(編號 A)的目標物，紅色框(編號 B)的 GPS code。

編號 A 的目標物為藍色與紅色兩種，目標物的實際形狀與尺寸為上方直徑 13 英吋圓盤，下方為底部 12 英吋上方開口為 15 英吋的碟子造型的容器(如圖 3 所示)。

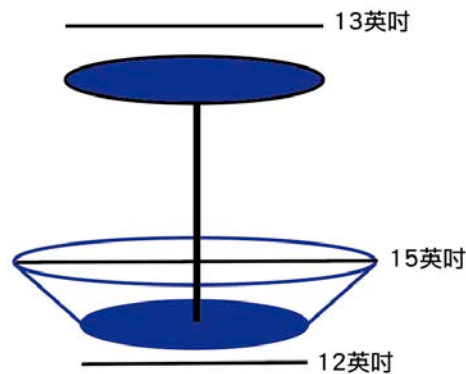


圖 3.目標物尺寸示意圖

編號 B 的目標物為 GPS code(圖 4 所示)，這些 code 是直接印刷在比賽場地護欄上面，透過 GPS 感測器的讀取可以獲得機器人在場地上相對的 GPS 數值，透過 GPS code 提供 GPS 感測器偵測的標的物。



圖 4.GPS code 示意圖

(二)、機器人零件

VEX V5 規定只能使用固定規格的零件，且不可以進行裁切或焊接等動作。本次實驗的零件可以分成兩類，第一類是基本零件，第二類則為影像感測器設備，以下將進行簡單的說明：

1、基本結構材料

基本結構包含鋁合金板材料、鋁合金 C-Channels、輪軸、連接零件、馬達和螺絲螺帽等零件(如圖 5 所示)，控制方面則由電腦主機與遙控器來進行。機器人主機可以透過撰寫程式並上傳到主機來執行程式，例如控制馬達、將感應器回傳

數據透過程式進行分析然後執行預設的任務。



圖 5. 基本結構材料

在移動速度輸出上，馬達的構造上透依照任務需要更換馬達內的齒輪組，一般來說可以更換的齒輪組(cartridge)依造轉速與齒輪組不同總共有三種齒輪組：轉速 100RPM、200RPM、600RPM 三種(如圖 6 所示)。



圖 6.不同輸出功率的齒輪組(cartridge)

考量實際狀況本次實驗僅採用綠色與紅色齒輪組，並且馬達輸出功率調整為 60%，所以最後紅色齒輪組轉速為 60RPM，綠色為 120RPM，此外透調整綠色齒輪的馬達輸出功率 45%，提供 90RMP 的轉速，本次研究最後三種轉速分別為 60RPM、90RPM、120RPM。

2、影像感測器

本次研究主要使用的感測器包含視覺感測器(圖 7 藍框所示)與 GPS 感測器

(圖 7 綠框所示)。兩種影像感測器的運作原理不同，例如視覺感測器主要是透過擷取影像進行分析，GPS 感測器則是利用接受場地事先印刷好的 code 進行相對方位數據進行測量與定位。



圖 7. 視覺感測器與 GPS 感測器

本次實驗中機器人的底盤設計將採用 X drive Holonomic 驅動底盤，組裝之後的車輛結構如圖 8 所示，圖 8 為實際組裝 X drive Holonomic 驅動底盤外觀，其長寬為 17.5 英吋，四個輪子分別由獨立的馬達所控制。

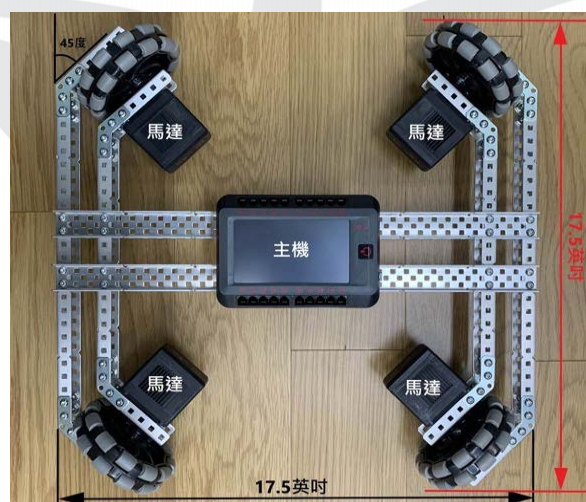


圖 8. X drive Holonomic 研究驅動底盤外觀

(三)、編程器具

本次研究主要探究「移動速度」與「使用外部感測器」對於「影像對位」成

效評估，所使用的編程軟體為 VEX 官方釋出的 VEXcode V5 V2.4.0 版本，進行本次研究程式編程的軟體。

本次研究需要程式撰寫完成任務共有四個部分分別為：1.X drive Holonomic Drivetrain 驅動底盤設定程式、2.視覺感測器對位程式、3.GPS 感測器對位程式、4.PID 自動控制程式進行瞄準程式。

二、研究過程與步驟

本次研究主要透過不同影像感測器與不同移動速度驅動底盤組合模擬影像對位表現，為詳細介紹本次研究針對研究變因、研究處理與資料收集繪製程研究設計圖(圖 9 所示)。



圖 9. 研究設計圖

從圖 9 來看本次研究的變因有兩大類:1.感測器、2.三種移動速度，其中感測器包含視覺感測器與 GPS 感測器。另外一個變因為透過底盤齒輪組提供機器人不同的移動速度，在研究中探究不同快慢的移動速度是否對於影像對位系統的表現。

數據收集時會在固定室內空間來進行，機器人上方架設紅光雷射瞄準儀，在目標物上面會張貼靶紙透過紅光雷射光顯示在靶紙上面的狀態來記錄準確性(圖 10 所示)。

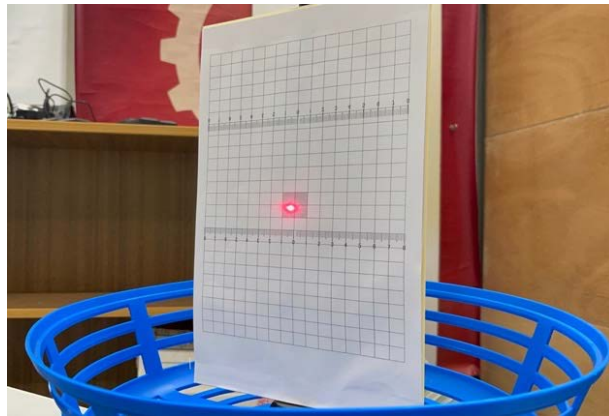


圖 10.靶紙與雷射光資料收集示意圖

肆、研究結果

本次研究主要探討兩種不同感測器，配合不同的移動速度，紀錄影像對位效果表現，經過實驗、資料收集與分析後，相關研究結果將在本章節進行說明。為了讓結果有系統呈現，以下說明第一部分將針對資料分析架構進行介紹，第二部分則針對結果進行影像對位準確性分析比較，第三部分進行總結說明。

本次研究採用兩種不同的感測器進行分析，資料收集包含：

1. 紀錄機器人執行影像對位所需花費的時間。
2. 紀錄影像對位後雷射光點再靶紙上與靶心的座標位置(X 與 Y 座標值)。

一、資料分析

本次研究主要探究不同感測器在偵測目標物的準確性採用單一定點收集資料，並且評估三種不同移動速度下的表現。以下將針對 1.資料分析架構、2.Cpk(製程能力指標，Process Capability Index)與 3.資料命名編碼(coding)進行說明。

針對單一定點的資料分析將採用 2-way ANOVA 同時分析感應器與三種移動速度下的時間比較，針對準確性則採用 Cpk 計算進行分析。以下針對 Cpk 與編碼進行介紹

(一)、Cpk(製程能力指標，Process Capability Index)

何謂 Cpk? 依照 ResearchMFG(2016)針對 Cpk 介紹，Cpk 全名為 Process Capability Index，中文為「製程能力指標」，主要源自於統計製程管制(Statistical

Process Control)。Cpk 強調生產過程中的品質控管，針對產品的精密度進行測量 (Felix, 2021，賽董供應鏈管理，2017)。

依照 ResearchMFG(2010)與 Mick(2019)提到 Cpk 雙邊計算公式為：

$$Cpk=\min\{(USL-X)/3\sigma, (X-LSL)/3\sigma\}$$

X 表示平均值，USL 表示規格上限，LSL 表示規格下限，σ 為標準偏差。本次研究當紅光雷射打到靶紙上方，研究者紀錄座標位置，靶心為(0,0)，為計算機器人 Cpk 值以靶心為中心分別向上、下、左、右向外延伸 8 公分為上、下限。

依照 ResearchMFG(2010)文章將 Cpk 分數區分成 A、B、C、D 四個等級，所代表的解釋表 2 所示。

表 2.Cpk 等級與評估說明表

等級	Cpk 範圍	解釋
A	$Cpk \geq 2.00$	製程能力足夠，不良率低於 0.002ppm
B	$2.00 > Cpk \geq 1.33$	製程能力足，不必檢查，維持現況即可
C	$1.33 > Cpk \geq 1.00$	製程能力普通，需尋找改善策略
D	$1.00 > Cpk$	製程能力不足，急需改善，重新檢查

本次研究針對準確性分析將採用 Cpk 方式進行分析，透過 Cpk 計算探究機器人影像對位的表現評估。Cpk 的概念類似於分析打靶時彈著點概念，當每次雷射光速瞄準的落點越集中，顯示準確性越高，產品不需要調整，如果落點分布太廣代表準確度不佳需要進步修改或修正。

(二)、資料命名編碼(coding)

本次研究主要包含兩種感測器與三種不同速度，資料收集分成單一定點與連續三點兩種實驗處理，為簡化各種實驗處理名稱，統一透過代碼有助於後續資料說明。

本次所使用感應器有 GPS 與 Vision sensor 兩種，使用的底盤齒輪組轉速有三種分別為 60RPM、90RPM、120RPM，實驗處理方式分成單一定點(Single)與連續三點(Triple)。

為了清楚呈現實驗處理，統一編碼的方式採用(Sensor)+(轉速)+(實驗處理)的

編碼順序，依照上述編碼模式將所有單一定點 6 組研究組合完成編碼，代碼說明如下：

GPS60S=GPS 感測器+60RPM 速度+單一定點

GPS90S=GPS 感測器+90RPM 速度+單一定點

GPS120S=GPS 感測器+120RPM 速度+單一定點

VS60S=Vision Sensor 感測器+60RPM 速度+單一定點

VS90S=Vision Sensor 感測器+90RPM 速度+單一定點

VS120S=Vision Sensor 感測器+120RPM 速度+單一定點

二、準確性分析

本次研究主要包含兩種感測器與三種不同速度，每一種實驗組合都進行 20 次的資料收集，準確性資料收集主要紀錄紅光雷射打到靶紙上的座標位置，以中心點座標為(0,0)，左右橫軸為 X 座標，上下縱軸為 Z 座標，將 USL(規格上限)設為 8，LSL(規格下限)設為-8。

單一定點資料完成收集紀錄，經過整理與 Cpk 計算將結果製作成表 3，表 3 主要呈現 X 座標的 Cpk 值。

表 3.單一定點 X 軸 Cpk 值一覽表

	GPS60S	VS60S	GPS90S	VS90S	GPS120S	VS120S
Cpk	0.643	0.669	0.515	0.516	0.532	0.545

從表 3 來看，X 軸的 Cpk 值完全低於 1.0，顯示機器人在執行影像對位的精密度不佳，依照 ResearchMFG(2010)的 Cpk 等級評估需要找出改善策略。

如果單純比較 GPS 與 Vision sensor 分別在三種底盤齒輪組轉速表現下的 Cpk 值，可以發現 Vision sensor 的 Cpk 值皆略高於 GPS 的 Cpk 值，顯示 Vision sensor 的準確度略優於 GPS。

針對 Z 軸計算 Cpk 值，將 USL(規格上限)設為 8，LSL(規格下限)設為-8，經過計算製作成表 4。

表 4.單一定點 Z 軸 Cpk 值一覽表

	GPS60S	VS60S	GPS90S	VS90S	GPS120S	VS120S
Cpk	8.399	43.588	10.1048	7.600	17.303	20.980

從表 4 來看，Z 軸的 Cpk 值完全高於 2.0，顯示機器人在執行 Z 軸影像對位的精密度佳，依照 ResearchMFG(2010)的 Cpk 等級評估可以維持現況。

四、總結

本次研究主要探究不同感測器(GPS 與 Vision sensor)搭配不同的底盤齒輪組(60RPM、90RPM、120RPM)進行影像定位資料收集，收集的數據包含雷射光在靶紙上的座標(準確性)。

在準確性結果顯示本次研究工具所收集到的座標資料經過 Cpk 分析，結果顯示 X 軸上的 Cpk 等級都屬於 D 級，顯示需要進一步尋找改善策略進行調整。

此外在單 Z 軸上的 Cpk 等級都屬於 A 級，顯示機器人移動時 PID 控制可以讓機器人移動路線能夠保持預設線路移動，無須再調整。

值得一提的是如果單純比較 GPS 與 Vision sensor 各自的 X 軸的 Cpk 值，可以發現 Vision sensor 的 Cpk 值都大於 GPS 的 Cpk 值，這個現象可能顯示 Vision sensor 在影像對位的準確性可能優於 GPS。

本次實驗過程中發現兩個可能造成影響實驗數據的問題，1.齒輪間隙，2.機器人重心過高。

(一)、齒輪間隙

機器人在進行測試時發現數據往往不穩定，經過測試時發現因為兩個齒輪之間會有一些細微的空隙，這就導致雖然馬達的轉角是固定的，但是雷射所瞄準的位置可能不同的情況，可能些許的角度差異就會造成雷射光點在靶紙上的 X 軸差異。

此外，由於影像感測器進行對位過程需要轉動影像感測器，這個過程也涉及到齒輪間隙問題。經過一連修正齒輪間隙問題，決定使用橡皮筋來嘗試去解決，主要方式是在固定雷射的旋轉盤上拉了一條橡皮筋，一端拉著旋轉盤，一端固定在機器人上，這樣在旋轉時，齒輪就會因為橡皮筋的拉力而固定偏向一邊，就可以避免空隙影響到實驗的準確性。

比較調整前、後的影像對位狀況，確認這樣可以有效減少誤差之後，為預防相同問題發生在具有旋轉功能的 Vision sensor，針對 Vision sensor 的旋轉盤上也

透過拉橡皮筋來減少誤差。

(二)、機器人重心過高

此外由於本次實驗的場地距離太小，機器人開始移動後便要進行煞車與對位，沒有進行減速過程。加上要安裝 GPS、Vision sensor、雷射裝置與兩個轉向馬達，造成機器人高度過高與重心過高，一旦機器人煞車時容易因為慣性影響造成機器人偏移，造成與原先設定的定點位置有所改變，最後造成機器人在 X 軸上的 Cpk 值受到影響。這個現象在原本使用 600RPM 的齒輪組造成的影響更是嚴重，在測試階段由於行進速度快，即停煞車造成的慣性讓機器人無法保持在預設的行進路線，導致機器人偏移預定測量點過遠，幾乎無法正常收集資料。

伍、討論

本次計畫的創見性主要是嘗試探究不同影像感測器針對前方的目標物進行機器人影像對位自動偵測，透過移動機器人模擬影像對位模式，提供未來自駕車設計的概念，與模擬交通情境測試，尤其是利用 Vision sensor 和目前比較常用的 GPS 座標系統進行評估。

經過研究資料收集、分析以及研究結果分析與報告撰寫，以下將針對本次研究進行結論說明與提出未來後續研究建議，詳細說明如下：

一、結論

針對上述討論可以初步歸納出以下 5 點結論：

1. GPS 執行對位時是採用相對位置進行調整，GPS 對位程式主要是利用三角函數進行運算推算出需要調整對位的角度。Vision sensor 則是利用現場的目標物進行對位調整，在影像對位準確性表現上，Vision sensor 的 Cpk 值略高於 GPS 表現，顯示 Vision sensor 有較高的準確性。
2. 本次研究的 PID 控制移動方向程式撰寫提供路徑偏移修正，因此在 Z 軸的

Cpk 值達到 A 級程度，顯示先前研究結果顯示 X drive 底盤有助於 PID 自動控制程式執行，本次研究結果顯示 PID 控制底盤馬達達到預期效果。

二、建議與應用

針對上述所歸納的結論，未來後續的研究方向可以從 3 方面著手：

1. 本次研究的準確性表現未達 Cpk 等級 A 級的結果，不過結果顯示 Vision sensor 仍然在準確性表現上存有潛在的優勢，如果能夠進行機器人硬體結構、結合 evolutionary algorithms 優化對位程式，相信對於提高準確性有所幫助(Cocianu, Uscatu, & Stan, 2023)。
2. 針對對位精準度可以透過增加齒輪間的密合度、或是藉由馬達直接輸出方式減少誤差，提高數據精準度。

參考文獻

- 李棟良、江淑盈、陳慶逸、羅嘉寧、柯啟強(2012)。足球機器人視覺系統之及時影像辨識加速法。電腦科學與教育科技學刊，2，pp38-50。
- 施吉昇、黃福銘(2021 年 9 月 30 日)。交通自駕車系列 2:你還需要考駕照嗎?自動駕車的發展與挑戰。科技大觀園。取自：
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=6021cb5a-bee6-4391-b435-2394edfac715>
- 孫學宏、張文聰、唐冬冬(2021)。機器視覺技術及應用。北京:機械工業出版社。
- 陳柏全。(2018 年 11 月 8 日)。自動駕駛的演進。科技大觀園。取自：
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000009/detail?ID=a6e47872-f4ad-4ae9-945c-4dac6c207d5a>
- 陳敬典(2018)。自動駕駛車發展現況與未來趨勢。車輛研測專刊，2018，15-26。
- 程光(2019)。機器視覺技術。北京:機械工業出版社。
- 曾子軒(2022 年 12 月 22 日)。ChatGPT 支援中文嗎?如何用得順手?遠見雜誌。取自 <https://www.gvm.com.tw/article/97461>
- [Anonymous, 2021]
- [Anonymous, 2022]
- 賽董供應鏈管理(2017 年 6 月 3 日)。淺談 PPK/CPK--董賽 1 因愛而生。每日頭

條。取自：<https://kknews.cc/news/68o6rvl.html>

Cocianu, C., Uscatu, C., & Stan, A.D. (2023). Evolutionary Image Registration, Sensors.
<https://doi.org/10.3390/s23020967>.

Felix (2021 年 9 月 5 日)。6 σ 評估與製程能力指數 Cpk 介紹。科技雞湯。取自：
<https://www.techchickensoup.com/product/six-sigma-intro/>

Mani, V. R. S., Arivazhagan, S. (2013). Survey of Medical Image Registration.
International Journal of Biomedical Engineering and Technology, 1, 8-25.

Mick (2019 年 9 月 7 日)。CPK:製程能力指數的定義及計算公式。取自：
<https://jcmytw.com/cpk/>

Nat and Friends (2017,May 3). *How Computer Vision Is Fianlly Taking Off, After 50 Years* [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=eQLcDmfimGB0>

NVIDIA (2022 年 3 月 21 日)。電腦視覺指南:其重要性與問題解決能力。取自：
<https://blogs.nvidia.com.tw/2022/03/21/guide-to-computer-vision-why-it-matters-and-how-it-helps-solve-problems/>

ResearchMFG (2010 年 10 月 19 日)。製程能力介紹-Cpk 之統計製程能力解釋、
計算公式。取自：<https://www.researchmfg.com/2010/10/spc-introduction-cpk/>

ResearchMFG (2016 年 3 月 23 日)。Cpk 要求管控 1.33 的數字是怎麼來的呢？
取自：<https://www.researchmfg.com/2016/03/cpk-1-33/>

Zitova', B., & Flusser, J.(2003). Image Registration methods: A Survey. *Image and Vision Computing*, 21, 977-1000.

表 1 資料參考網頁 <https://kb.vex.com/hc/en-us/articles/360035952771-Creating-a-V5-Drivetrain>

表 2 表格內容摘自：<https://www.researchmfg.com/2010/10/spc-introduction-cpk/>