

底蘊深厚、蓄勢待發-探究VEX V5機器人底盤表現

Exploring the Performance of VEX V5 Robotic Drivetrains

摘要

VEX 機器人競賽在台灣推廣多年，尤其 V5 在這個全新的比賽中，不論是團隊挑戰賽、技能挑戰賽，機器人底盤動力設計往往是致勝的關鍵，正所謂「差之毫釐，失之千里」就是這個道理。本次研究主要透過比較兩種不同的底盤驅動結構(Drivetrain):1.Standard drive、2.X drive 與兩種齒輪組(18:1 與 36:1)輸出分別在三種向度:1.移動性、2.拖曳性與 3.準確性的效能表現。研究結果顯示 X drive 在行動性與執行程式的準確性表現較佳，而 Standard drive 在拖曳性表現則明顯優於 X drive。18:1 的齒輪對於行動性表現優於 36:1 齒輪組，而在拖曳性表現上則是 36:1 齒輪組優於 18:1 齒輪組。在準確性表現上，X drive 在自動賽程式編程表現上優於 Standard drive。透過研究結果顯示每一種底盤驅動結構都有其優勢，在未來選擇底盤選擇上可以依照比賽屬性選擇適合的結構達成事半功倍目標。

關鍵字： 機器人、底盤結構、VEX

Abstract

The robotic drivetrain plays an important role in robot tournament. This study explores the performance between X drive and Standard drive in the aspect of mobility, traction and precision. Moreover, this study applied 2 different gear cartridges to motors and investigate the performance in these three aspect as well. The result indicated that the X drive performance higher mobility. Additionally, the X drive showed better precision in autonomous performance. It also revealed that the Standard drive has better performance in the aspect of traction. As to different gear cartridges, 36:1 cartridge showed great traction performance than 18:1. Different drivetrains have individual's privilege. The choice of drivetrain must depend on the tournament theme.

Keywords : robot, drivetrain, VEX

壹、前言

從 2021 年開始參 VEX V5 機器人比賽正式在台灣舉辦台灣公開賽，V5 機器人有別於先前的 VEX IQ 機器人組裝材料是以塑膠積木來搭建機器人(如圖 1 所示)，圖 1 中包含 VEX IQ 機器人主機、遙控器、馬達與相關組合積木零件。

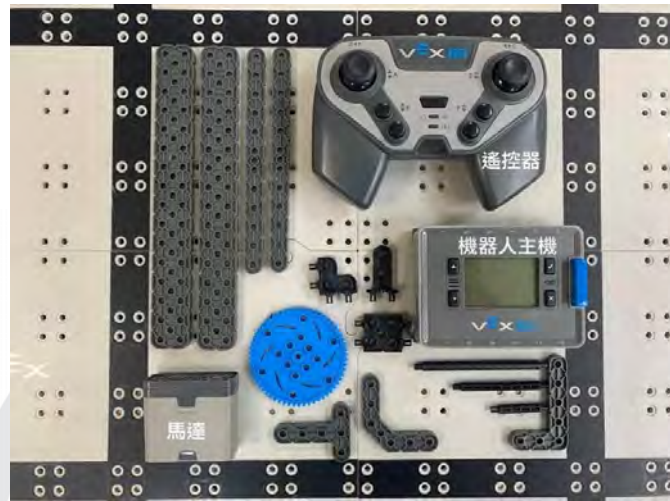


圖 1. VEX IQ 部分零件示意圖

V5 機器人組裝則採用鋁合金材料進行組裝(如圖 2 所示)，圖 2 中包含 V5 機器人主機、遙控器、馬達與鋁合金組裝材料。V5 機器人組裝零件不同之外，機器人主機、遙控器與馬達的功率也高於 VEX IQ 的相對零件，此外 VEX IQ 組裝機器人是不能切割組裝零件，V5 是可以針對材料進行切割與修整。



圖 2. V5 部分零件示意圖

V5 機器人比賽除了上述組裝材料不同，比賽場地與競賽規則也有所不同，VEX IQ 場地是 6 英尺 x8 英尺塑膠場地(如圖 3 所示)，四周有塑膠圍牆，場地中有黑色的座標線。

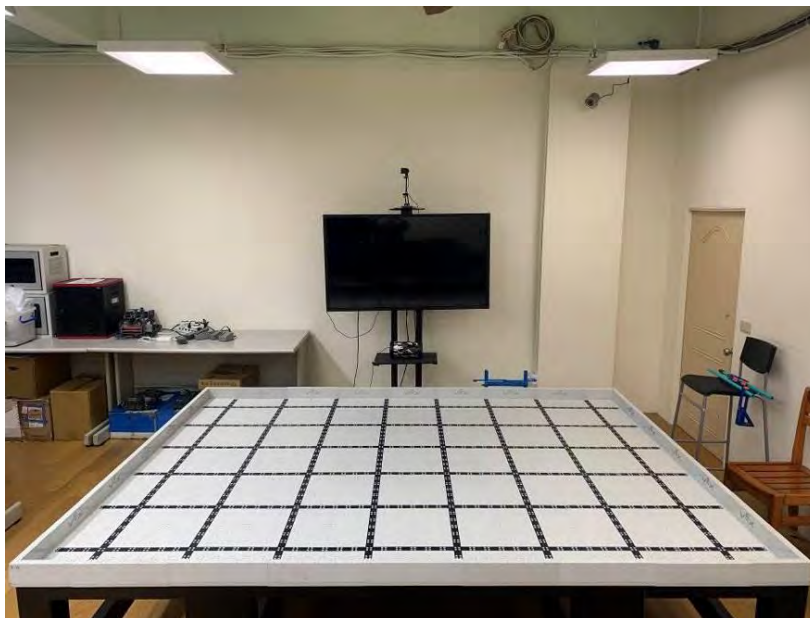


圖 3. VEX IQ 場地示意圖

V5 則是 12 英尺 x12 英尺地板鋪設防靜電地墊的場地(如圖 4 所示)，場地四周是由鐵架為成的圍牆，場內由白色膠帶貼在地墊上面區分左右兩邊，圖 4 中左右藍色與紅色的蹺蹺板結構為今年度比賽的套件。



圖 4. V5 場地示意圖

V5 機器人設計牽涉更多科學理論與應用，挑戰學生的思考、整合與創新能力。舉例來說原來 VEX IQ 比賽中每一場比賽會有兩組機器人參賽，兩隊採合作模式完成任務。在 V5 比賽中每場比賽會有四組機器人參賽，兩組配對成藍軍聯隊，另兩組配對成紅軍聯隊，競賽中聯隊要互相合作、結合戰術規劃完成任務，紅、藍聯隊採競賽模式，兩聯隊則要互相進行攻防，防止對方聯隊獲得高分而贏得比賽。

在未來參加 V5 機器人比賽過程中，機器人設計牽涉到零件材質、場地大小、更多的外部感應器應用、馬達動力輸出與複雜的比賽規則，都增加機器人設計的複雜性與困難度，同時還需要考量當年度比賽的主題，針對比賽主題的特性設計與組裝機器人。

機器人移動的基礎為底盤動力結構，有了適合的底盤動力結構再往上增加針對比賽設計的結構，才可以達到預期的目標。為了能夠順利銜接未來的比賽，因此，我們希望透過這次的研究來分析不同的機器人底盤驅動結構(Drivetrain): Standard drive 與 X drive，針對實際比賽狀況分析底盤驅動結構優、缺點提供我們未來設計參考。

貳、文獻探討

機器人比賽中機器人需要在比賽場地進行移動，在 VEX 網頁中針對 V5 的底盤驅動結構(Drivetrain)進行初步介紹¹，其中包含 Standard drive、X drive (Holonomic)、H drive、 Mecanum、與 Track Drive，以下我們引用網頁資料製成表 1 進行簡單比較。

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

表 1.不同底盤驅動結構比較表*

	Standard Drive	H Drive	Mecanum	X drive Holonomic	Track Drive
最少馬達數	2	3	4	3	2
多向移動性	無	有	有	有	無
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

*資料引用:<https://kb.vex.com/hc/en-us/articles/360035952771-Creating-a-V5-Drivetrain>

從表 1 可以看到不同的底盤驅動結構的基本比較，目前比賽中常看到使用的底盤驅動結構以 Standard Drive 與 X Drive 為主，由於表 1 僅呈現基本的比較，對於比賽時所需要的相關能力則無進一步說明。

由於 V5 每年的比賽主題任務不同，機器人需要針對比賽得分任務進行底盤驅動結構規劃，表 2 為近 4 年來 V5 比賽主題，我們依照比賽得分任務進行分析，依據比賽中較常使用底盤結構中的移動性、拖曳性、準確性與爬坡性需要製作成分析表。

表 2.4 年內 V5 比賽主題與得分任務分析表

	2021-22	2020-21	2019-20	2018-19
主題	Tipping Point	Change UP	Tower Takeover	Turning Point
移動性	√	√	√	√
拖曳性	√		√	
準確性		√		√
爬坡性	√			√

表 2 顯示每年的 V5 競賽主題都有所不同，對於底盤驅動結構特性要求也有所不同，考慮常用的底盤結構為 Standard Drive 與 X Drive 這兩種底盤驅動結

構，因此我們想進一步透過研究來深入了解兩者的不同。本次研究的目的是為了分析不同 V5 機器人底盤動力結構在移動性、拖曳性與準確性的表現差異。

V5 機器人競賽每一場的時間為 2 分鐘，其中前 15 秒為自動賽，剩下的 105 秒為遙控器操作賽，所以在有限的時間內要完成任務，尤其在 12 英尺 x12 英尺場地來回完成任務，機器人的移動速度快慢就扮演重要的決勝因素之一，所以機器人的移動性就是本次研究的向度之一。

由於 V5 採取聯隊對抗比賽方式，在場上爭搶主題套件或是移動套件往往需要較高的力矩來完成相關任務，此外場地上可能還有障礙物需要克服或爬上得分座所以拖曳性也是重要的評估一個向度。

V5 機器人比賽也包含程式編程自動賽的部分，透過精準的程式設計讓機器人完成規畫的得分任務，所以搭配程式設計讓機器人準確移動到正確的位置也是重要的底盤設計之一。

所以我們本次研究的首要目標就是評估兩種常用的機器人底盤表現(X drive 與 Standard drive

)，此外V5馬達提供不同的齒輪比的齒輪組(18:1與36:1)，本次研究也將同時探究這兩種齒輪組在上述移動性、拖曳性與準確性表現，希望透過這次研究分析與評估找出每種底盤最佳的優勢，針對未來競賽主題特性運用在明年賽季中，讓我們競賽成績能夠更上層樓。

參、研究實施與設計

一、研究設備與器材

本次研究所使用的設備與器材總共分成 3 大類，分別為(一)、比賽場地、(二)、機器人器材、(三)、編寫程式軟、硬體設備，以下將針對這 3 大類研究設備與器材進行介紹。

(一)、比賽場地：

V5 機器人比賽有規定的場地，必須使用 VRC(VEX Robotics Competition)

所規定與認證的場地，本次使用的場地規格為 2021-22 賽制所使用的正式場地規格，場地長與寬尺寸為 12 英尺 x12 英尺的正方形場地，場地內鋪設防靜電地墊(圖 5 所示)。



圖 5. V5 比賽場地(12 英尺 x12 英尺)

(二)、機器人器材：

VEX V5 機器人比賽有規定的材料，機器人所使用的任何零件必須使用 VRC 所認證的零件，本次研究機器人所使用的零件包含 1.基本結構材料、2.遙控器與機器人主機。基本結構包含鋁合金材料、齒輪(圖 6 所示)與四吋萬向輪(Omni-directional wheels) (圖 7 所示)。



圖 6. V5 基本結構材料示意圖



圖 7.萬向輪(Omni-directional wheels)

本次研究主要探討 V5 機器人底盤驅動結構，從移動性、拖曳性與準確性進行比較，V5 的馬達中可以更換 3 種齒輪組(gear cartirages)，透過齒輪組更換來調整馬達的速度或是力量的輸出功率(圖 8 所示)。



圖 8.更換齒輪組示意圖

三種齒輪組使用不同的顏色區分(圖 9 所示)，綠色為標準 18:1 齒輪組，馬達轉速為 200RPM，藍色為 6:1 齒輪組，馬達轉速為 600RPM，紅色為 36:1 齒輪組，馬達輸出轉速為 100RPM。

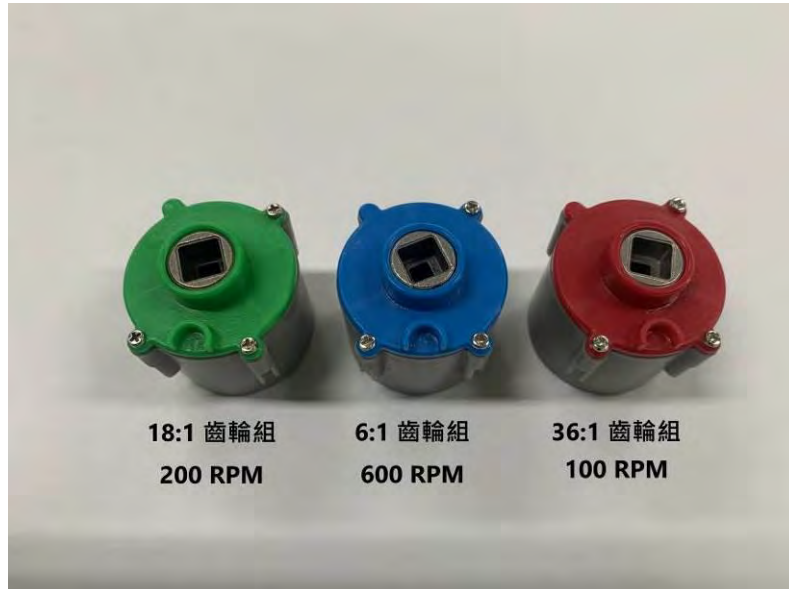


圖 9.不同功率的齒輪組(gear cartridges)

依照齒輪組的特性高馬達轉速可以增加機器人移動速度，但是高轉速往往伴隨低扭力，考量實際比賽中機器人的重量會造成高轉速的馬達輸出無法移動機器人，因此本次研究將只採用兩種齒輪組進行研究資料收集，分別為綠色 18:1 齒輪組與 36:1 齒輪組來進行相關數據收集與分析。

(三)、撰寫程式軟、硬體設備：

本次研究主要探究程式編成與使用外部感應器對於機器人表現成效評估，所使用的編程軟體為 VEX 官方釋出的 VEXcode V5 V2.3.0 版本²進行本次研究程式編程的軟體(如圖 10 所示)。



圖 10. VEXcode V5 官網截圖

本次所使用的資訊設備為 ASUS 公司生產型號 C214M 的 Chromebook³擔任程式編程資訊設備，所以下載的 VEXcode V5 版本為相容 Chrome 作業系統的

² 官方 VEXcode V5 下載網址: <https://www.vexrobotics.com/vexcode/install/v5>

³ 相關硬體規格請參閱 ASUS 官網: <https://smb.asus.com/product/intro/26>

版本。實際 VEXcode V5 操作與 C214M 請參考圖 11 所示。

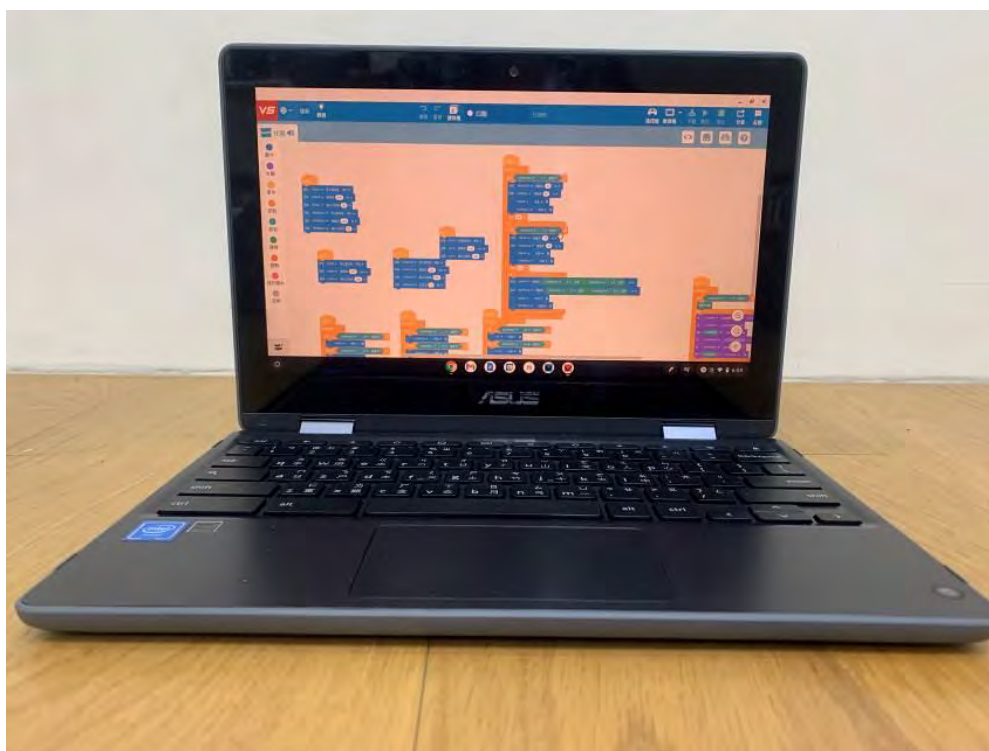


圖 11. C214M 與 VEXcode V5 操作示意圖

二、研究過程與方法

本次研究主要透過比較兩種常用的 V5 機器人底盤驅動(drivetrain)結構: 1. Standard drive (4-motors)、2.X drive，針對兩種底盤驅動結構以及馬達輸出探討在 1.移動性、2.拖曳性與 3.準確性的表現差異。本章節將針對研究設計與程式設計(VEXcode V5)兩部分說明。

(一)、研究設計

本次研究主要評估兩種機器人底盤驅動結構進行分析，首先我們需要完成底盤的組裝，為了統一兩種底盤結構，我們採用比賽規定長度 17.5 英寸(44.5cm)C-channels 鋁合金當作主要結構，輪子則採用直徑 4 英寸的萬向輪進行組裝，每個輪子都有獨立的馬達提供動力輸出，組裝原則以降低零件裁切為原則，並將主機安置在底盤中心位置為主，經過組裝 Standard drive 的底盤結構如圖 12 所示。

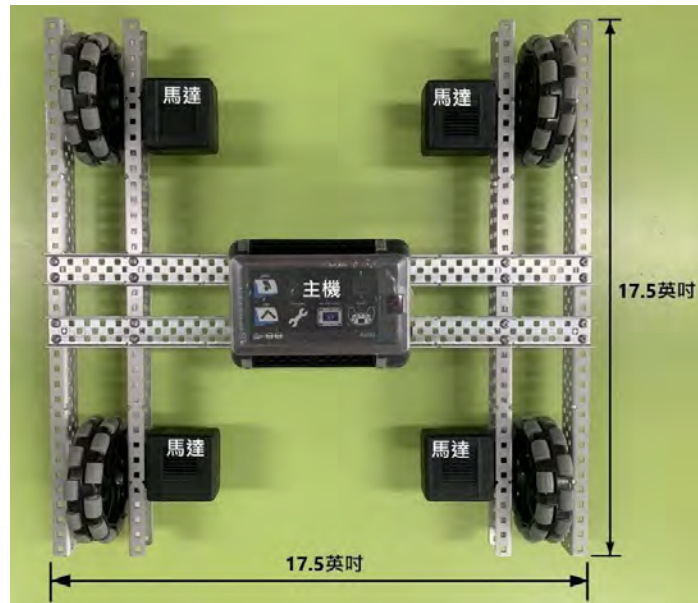


圖 12. Standard drive 底盤結構

X drive 底盤結構相對需要裁切 C-channels，我們採用 17.5 吋的 C-channels 來搭建 Standard drive，由於四個萬向輪需要將結構向內彎曲 45 度角，所以先裁切然後利用 45 度夾角的角板(gusset)鎖定結構，以確保角度的正確。X drive 所使用的主機、輪子與馬達都是相同的型號與尺寸，經過組裝後的 X drive 結構如圖 13 所示。

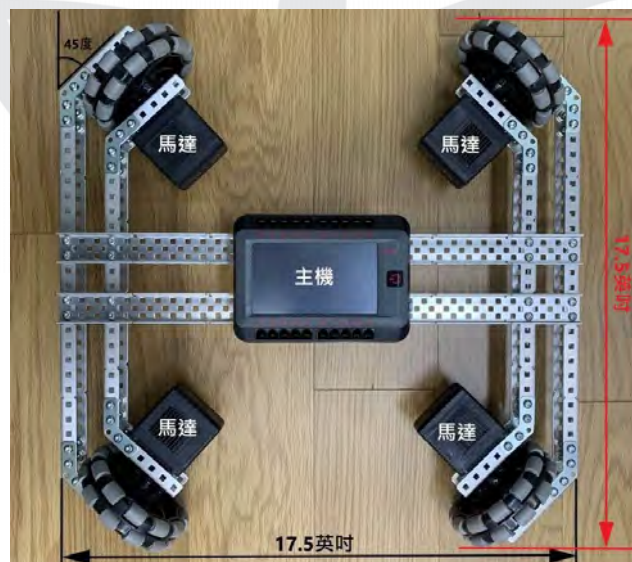


圖 13. X drive 底盤結構

完成兩種底盤組裝後，利用傳輸線將馬達與主機進行連接，安裝接收器，最後連接上電池提供電力，進行簡單測試，確定馬達可以順利運作。本次研究的

重點在分析不同底盤驅動結構的差異，為了清楚呈現研究架構我們將研究架構繪製成圖 14 研究架構圖。



圖 14.研究架構圖

從圖 14 來看，本次研究的變因有兩種：1.底盤結構(Standard drive 與 X drive) 與 2.齒輪組(36:1 與 18:1)。在實驗設計部分包含三大類：1.速度測試、2.拉力測試 與 3.自動駕駛，速度測試主要對移動性表現進行測試，拉力測試主要針對拖曳性進行測試，自動駕駛則提供準確性書據進行分析。以下將針對上述 1.速度測試、2.拉力測試與 3.自動駕駛三種實驗設計進行說明。

1.速度測試(移動性)

在移動性測試主要針對機器人移動速度進行測試，主要測量方式記錄底盤驅動結構在固定距離運動時所需花費的時間，本次速度測試的距離為 3 公尺，測試的場地在 V5 的正式場地進行。每種底盤與齒輪組的組合進行 10 次速度測試，為了準確計時我們採用程式與碰撞感應器(圖 15 所示)結合進行計時工作，當按下主機螢幕時機器人開始向前行進，當碰撞感應器撞擊後停止計時，行進所需的時間會顯示在主機的螢幕(圖 16 所示)。

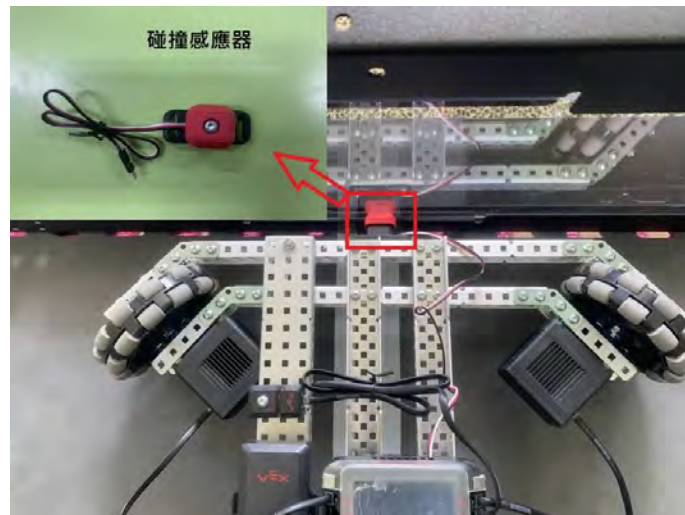


圖 15.碰撞感應器



圖 16.計時器顯示圖示

以圖 16 為例，在本次行動性測試中，機器人在 3 公尺距離中，完成任務所需的時間為 4.22 秒。

2.拉力測試(拖曳性)

拉力測試主要收集底盤驅動結構所產生的扭力數據，研究的方式主要是讓不同的底盤結構來拉力測試器，本次主要是使用具有掛鈎的電子拉力器進行測試(圖 17 所示)。



圖 17.電子拉力器

測試時候我們將拉力器固定，測量單位選擇牛頓(N)，拉力器設定為記錄最大拉力值，研究收集的場地也在 V5 的正式場地進行，資料的收集以掛鉤連結機器人與拉力器，操作方式透過程式撰寫控制驅動馬達持續運作 3 秒鐘，利用機器人後退方式拉動拉力器，每種底盤進行 10 次的資料收集，持續記錄機器人 3 秒鐘內所產生的最大拉力值，並記錄在拉力器上面所顯示的拉力為多少牛頓(圖 18 所示)。以圖 18 為例，本次 X drive 機器人所產生的拉力為 32.1 牛頓(N)。

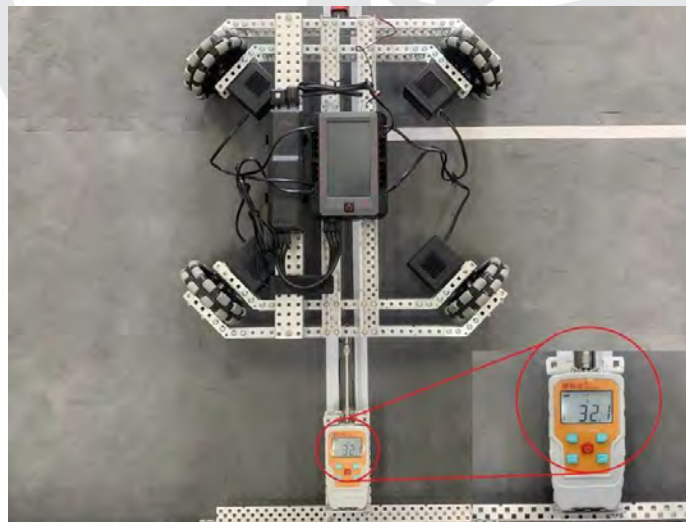


圖 18.電子拉力器測試示意圖

3.自動駕駛測試(準確性)

由於正式 V5 機器人比賽中包含 15 秒的自動賽(Autonomous)，與 105 秒遙控器操作，另一項技能挑戰賽則是有 60 秒的自動賽(Autonomous)。在自動賽進

行時機器人是透過事先編寫的程式來執行任務，沒有任何人為的操作介入。由於自動賽強調機器人必須精準的移動到預設的位置然後執行任務，在準確性測試中我們規劃移動的任務來檢測機器人移動的準確性。

為了測試機器人在自動賽移動的準確性，我們在場地的四個角落規劃邊長為 60 公分的正方形為任務區，並規劃 1~4 的移動順序(圖 19 所示)，機器人需要依照順序完成程式撰寫。

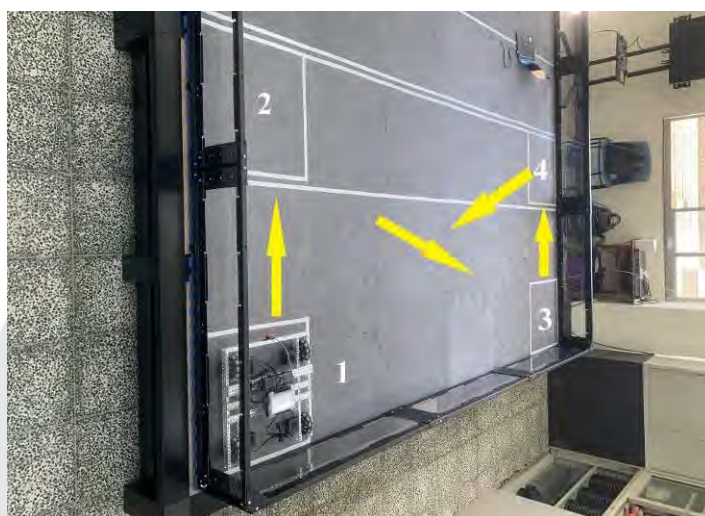


圖 19. 準確性場地任務位置圖

判定是否成功抵達任務區主要依據機器人四個車輪是否可以同時在任務區，如果有一輪沒有進入任務區則視為沒有準確抵達任務區，圖 20 示範任務成功與失敗範例。

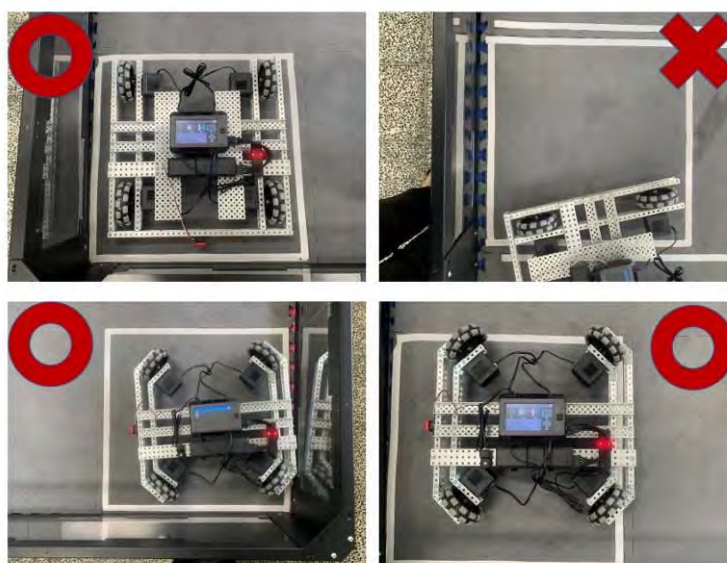


圖 20. 任務成功與失敗示意圖

準確性測試則是透過城市預先設計機器人行走路線與任務，然後執行程式針對機器人是否能夠順利進入任務區來判定程式任務是否準確完成。由於正式比賽的自動賽時間為 15 秒，所以程式設計以 15 秒內積器任必須抵達四個任務區然後回到原點(第一個任務區)。

程式的撰寫以 Vexcode V5 程式來完成，程式透過傳輸線下載到機器人主機之中，在測試之前機器人要進行調整，確定可以 100% 進入任務區之後才開始測試。在準確性測試中每一台機器人都要進行 10 趟測試，在測試中主判斷與紀錄機器人是否可以四個輪子都進入任務區，依照實驗設計機器人如果記錄在一趟中如果四個任務區都成功進入，則功率視為 100%，如果一個任務區失敗則成功率為 75% 依此類推。

本次研究中同時探討兩種不同的齒輪組機器人在行動性、拖曳性與準確性的表現(18:1 與 36:1)。當機器人完成 18:1 齒輪組的三種實驗，我們會將四個馬達的齒輪組進行更換，更換成 36:1 的齒輪組，然後再進行三種實驗。

本次研究為降低所以研究誤差，同時採購兩套全新機器人零件，所有零件皆為全新未開封，隨機先選取一套進行 Standard drive 底盤結構，另一套則組裝成 X drive 底盤結構。所有 8 顆馬達隨機分派分成兩組。除了 X drive 需要裁切之外，底盤零件部分盡量以不裁切為原則。

本次兩台機器人的長寬尺寸皆為 17.5 英寸，由於要進行測試行動性、拖曳性與準確性實驗，兩台機器人進行秤重，X drive 底盤的重量為 2750g，Standard drive 的重量為 2500g，為了統一重量我們在 Standard drive 安裝兩塊鋁合金板，經過測量重量增加為 2750g(圖 21 所示)。

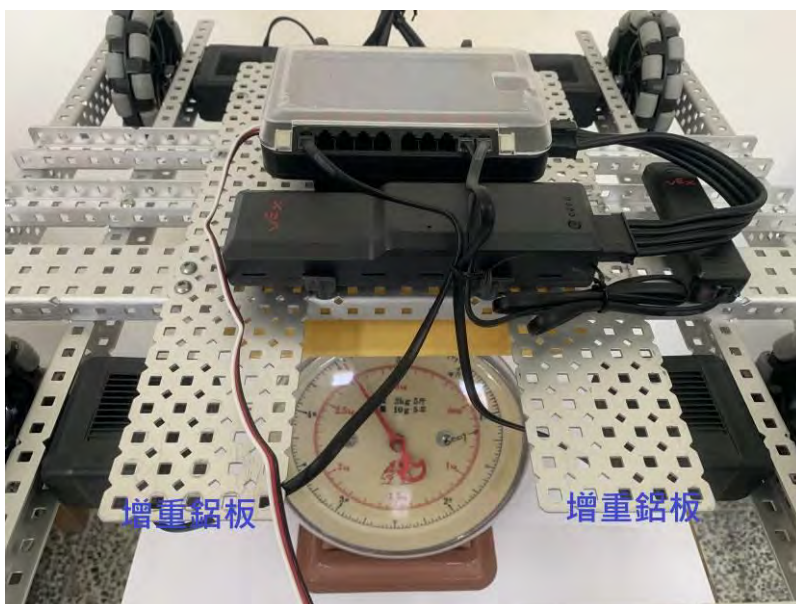


圖 21. Standard drive 鋁合金板示意圖

(二)、程式設計(VEXcode V5)

本次研究所使用的軟體為 VEXcode V5，分別設計三種程式進行資料收集，分別為 1.計時程式(行動性)、2.拉力馬達運作定時程式(拖曳性)3.PID 自動控制程式與 4.自動賽程式(準確性)，透過輔助程式設計協助資料收集的便利性與降低實驗誤差，提高實驗的準確性。以下將針對行動性計時程式、拖曳性拉力測試馬達運作定時程式、PID 自動控制城市與準確性自動賽程式進行說明。

1.計時程式(行動性)

為了準確紀錄底盤結構在相同距離的行進時間，結合碰撞感應器與程式來完成計時工作，圖 22 為行動計時程式的程式塊，該程式將馬達的輸出設定為最大值(100%)，該程式可以透過主機螢幕觸控啟動，然後進行計時，當碰撞感應器受到撞擊後會馬達會停止，結束計時然後將時間數據顯示在主機螢幕上。



圖 22.計時與碰撞感應器應用程式塊組合範例

2.拉力馬達運作定時程式(拖曳性)

第二種測試為拖曳性拉力測試(圖 23 所示)，在程式中仍然採用觸控主機螢幕執行馬達運作，該程式將馬達的輸出設定為最大值(100%)，馬達轉動時間則設為定時，馬達運作時間長度為連續 3 秒鐘，時間一到所有馬達就會停止運轉，然後我們可以從拉力機上面螢幕讀取剛才三秒內底盤所產生最大拉力的數值。



圖 23.定時應用程式塊組合範例

3.PID 自動控制程式

為了讓底盤結構在行進中轉向更精準，直線方向不要偏離，我們搭配慣性

感應器(inertial sensor) (圖 24 所示)與 PID 控制程式(圖 25 所示)來提高轉向的準確性⁴。



圖 24.慣性感應器



圖 25.PID 自動控制程式塊組合範例

⁴ PID 在 VEXcode 應用可以參考先前發表資料: 黃昱誠、陳宥潔、陳怡翔、黃昭銘(2021)。有「感」而發-探討外部感應器對機器人競賽表現效能評估。ICEET 2021 數位學習與教育科技國際研討會。台北:國立政治大學。

圖 25 為本次實驗所撰寫的 PID 自動控制程式，透過慣性感應器提供的數據資料，應用在 PID 控制程式中可以讓機器人在行進中隨時修正偏差角度，讓機器人可以保持直線前進，以及轉彎後角度的修正，透過這個程式減少機器人因為移動角度偏移所產生的影響，進而提高實驗數據的準確性。

4.自動賽程式(準確性)

在完成上述三個定義模塊之後，透過程式結合定義模塊與 PID 自動控制程式使用，我們完成第三組的程式編程，請參閱圖 26 所示。透過上述三種程式的協助，讓我們在收集數據時能夠更精準、更快速地完成資料收集工作。



圖 26.準確性程式設計程式塊組合

肆、研究結果

本次研究結果將分成三個段落，分別針對行動性、拖曳性與準確性進行說明，然後在每一個段落再分別針對兩種齒輪組(18:1 與 36:1)與不同的底盤驅動結構(Standard drive 與 X drive)與進行深入分析。

一、行動性

首先我們先針對 18:1 與 36:1 齒輪組進行兩種底盤驅動結構進行行動性分析，在 3 公尺的距離中兩種底盤結構完成任務的時間經過紀錄、繪製成圖 27、28 分析圖。

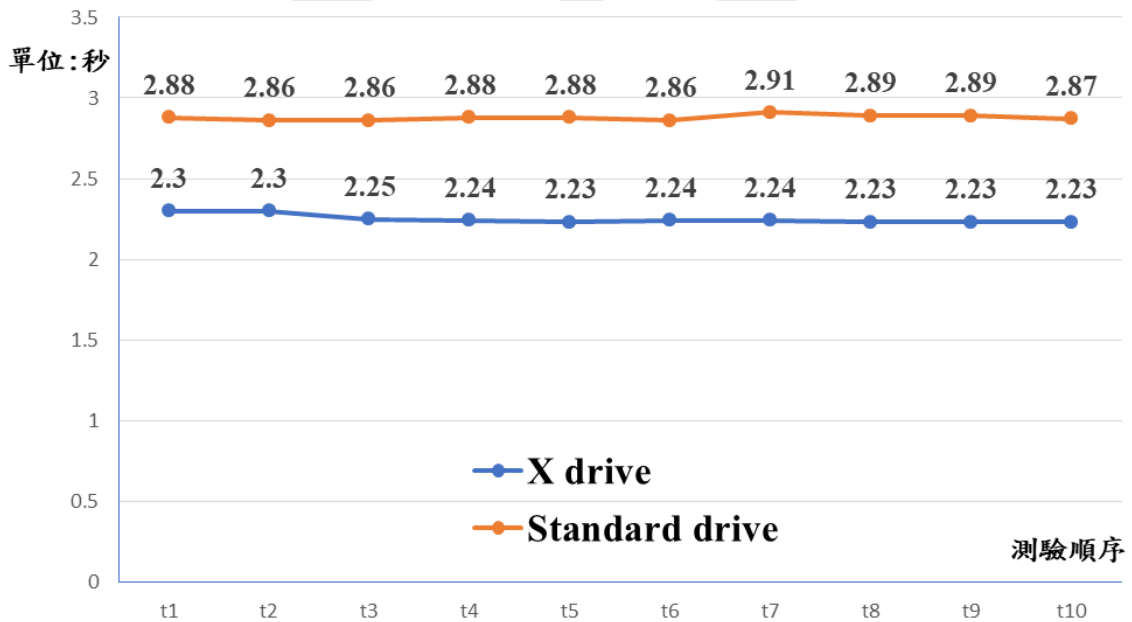


圖 27. 不同底盤驅動結構行動性折線分析圖(18:1)

圖 27 顯示 X drive 在行動性表現上，移動 3 公尺所花費的時間大約介於 2.23~2.3 秒之間，而 Standard drive 所花的時間則是介於 2.86~2.91 秒之間。

圖 28 則是使用 36:1 齒輪組情況下，Standard drive 在行駛 3 公尺所花費的時間大約介於 5.58~5.7 秒之間，X drive 所花費的時間則介於 4.19~4.26 秒之間。比較圖 26 與圖 27 可以看到 X drive 的移動時間不論採用 18:1 齒輪組或是 36:1 齒輪組都低於 Standard drive 的表現，顯示 X drive 的行動性優於 Standard drive。

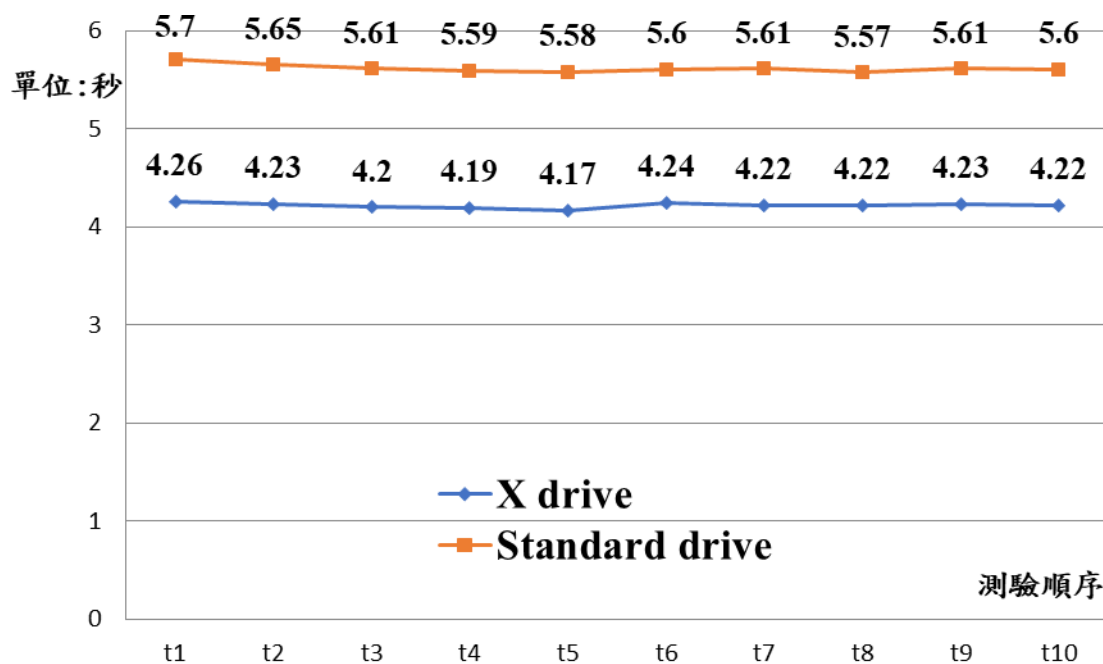


圖 28.不同底盤驅動結構行動性折線分析圖(36:1)

表 3 為上述資料所整理後的平均值。表 3 中 X drive(18:1)的平均秒數為 2.249 秒，36:1 的平均秒數為 4.218，Standard drive 則分別為 2.878 秒與 5.612 秒。顯示 36:1 的齒輪組所需的時間高於 18:1 齒輪組，這個結果顯示 X drive 在行動性表現優於 Standard drive。

表 3.不同齒輪與底盤驅動結構行動性結果統計表

	X drive		Standard drive	
	18:1	36:1	18:1	36:1
平均值(秒)	2.249	4.218	2.878	5.612

三、 拖曳性

接著我們先針對 18:1 與 36:1 齒輪組進行兩種底盤驅動結構在拉力器的數據結果繪製成圖 29、圖 30 折線分析圖。從圖 29 來看，X drive 所產生的拉力值大約介於 17.6N~19.4N 之間，Standard drive 則是介於 37.4N~40N 之間。

如果更換 36:1 齒輪組之後，在圖 30 中，Standard drive 的拖曳性所記錄到最大拉力介於 36.3N~42.9N 之間，X drive 的拉力值則介於 19.9N~21.7N 之間，從圖 29 與圖 30 可以發現 Standard drive 在兩種齒輪組的拉力表現都高於 X drive。

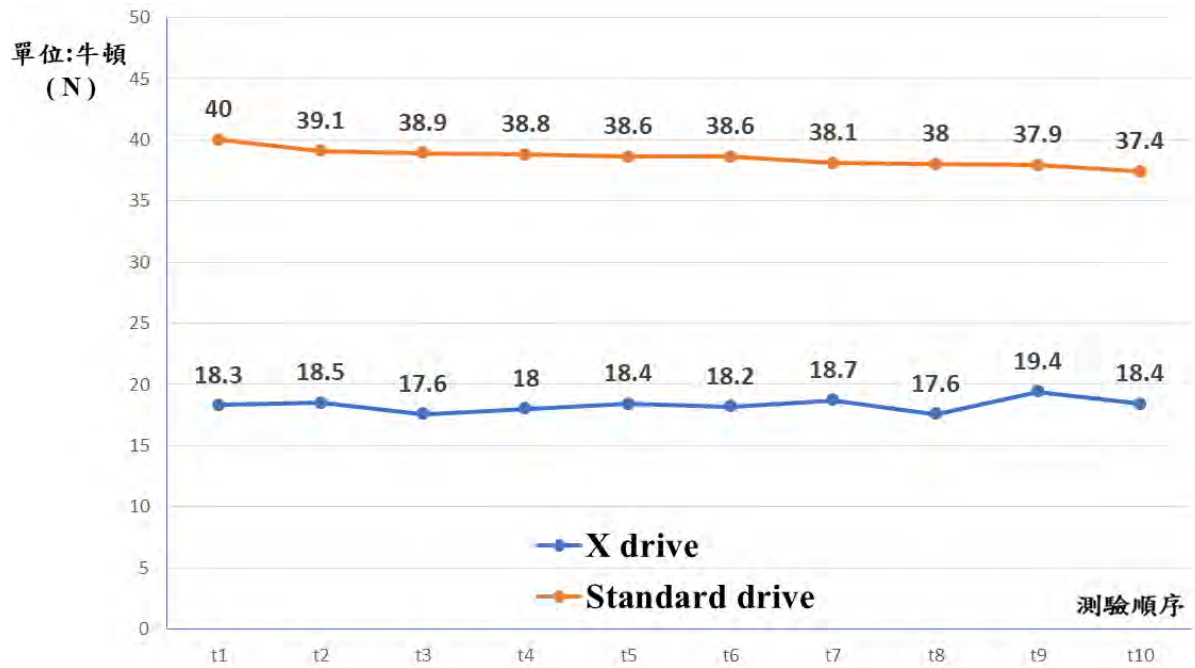


圖 29.不同底盤驅動結構拖曳性折線分析圖(18:1)

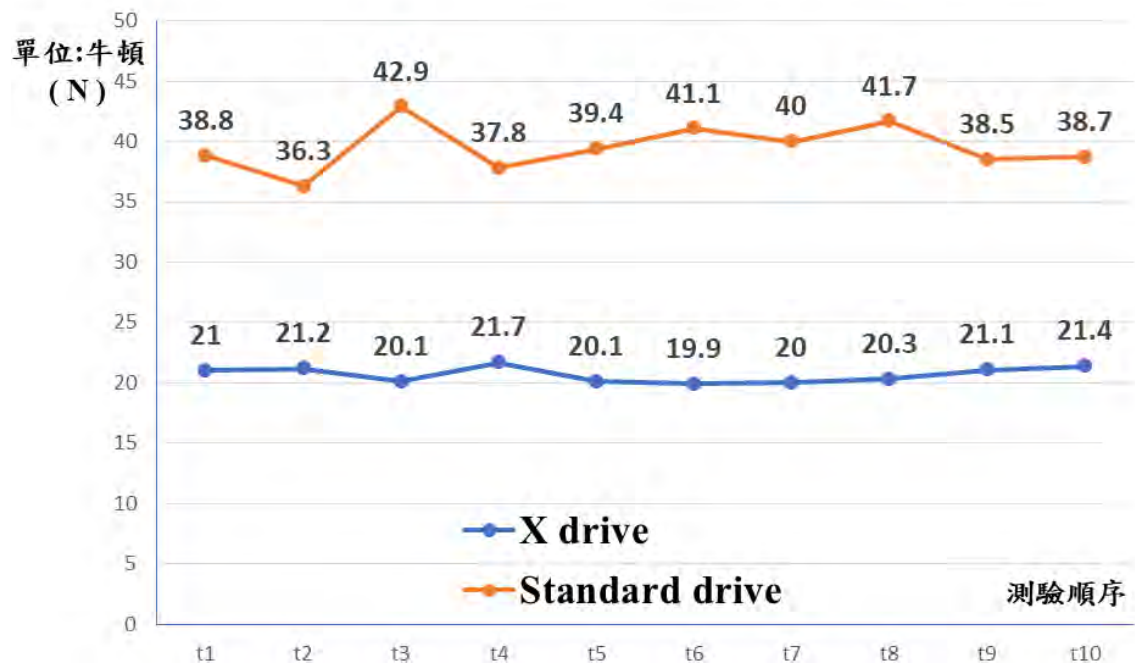


圖 30.不同底盤驅動結構拖曳性折線分析圖(36:1)

為了進一步比較拉力值表現，將上述數據經過計算將平均值繪製成表 4。

表 4.不同齒輪與底盤驅動結構拖曳性結果統計表

X drive	X drive		Standard drive	
	18:1	36:1	18:1	36:1
平均值(N)	18.31	20.68	38.54	39.52

表 4 中 X drive(18:1)的平均拉力為 18.31N，36:1 的平均拉力為 2068N，Standard drive 則分別為 38.54N 與 39.52N，在拖曳性拉力表現上顯示 X drive 在行動性表現優於 Standard drive，儘管 X drive 使用 36:1 的齒輪組企圖產生更大的拉力，不過所產生的拉力表現(20.68N)仍然比 Standard drive 在 18:1 齒輪比的表現 38.54N。

三、準確性

本次準確性的研究主要分析透過自動賽程式編程任務評估機器人底盤驅動結構是否能夠抵達任務區的成功率，經過資料收集將成功率繪製圖 31 與圖 32。

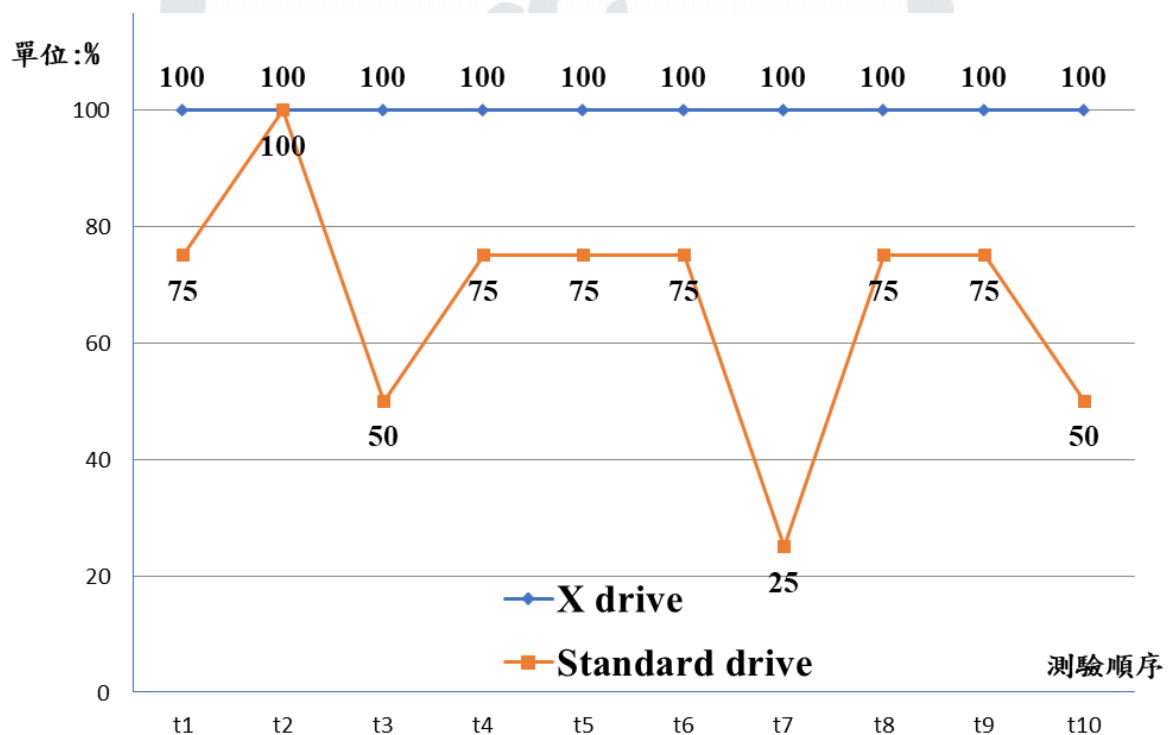


圖 31. 不同底盤驅動結構準確性折線分析圖(18:1)

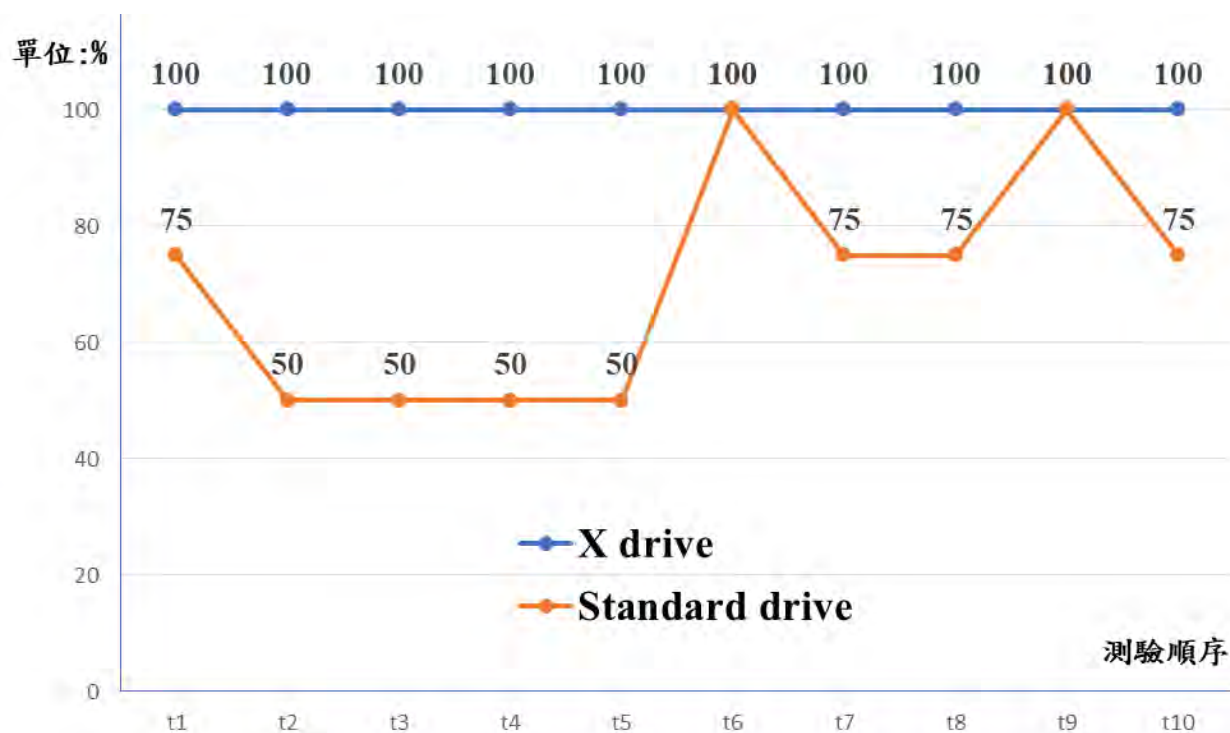


圖 32. 不同底盤驅動結構準確性折線分析圖(36:1)

從圖 31 與圖 32 來看，X drive 在準確性表現能夠維持 100% 的表現，顯示機器人能夠成功進入設定的任務框，而 Standard drive 的表現則介於 25%~100% 之間，除了準確性低外，從成功率表現顯示機器人在執行程式的不穩定性較高，機器人可以 100% 準確抵達任務框，也可能只有成功一次抵達任務框(25%)，這樣的表現對於機器人自動賽會有比較大的影響。為進一步探討準確性的平均值，將資料進行計算並整理成表 5。

表 5. 不同齒輪與底盤驅動結構準確性結果統計表

X drive	X drive		Standard drive	
	18:1	36:1	18:1	36:1
平均值(N)	100%	100%	67.5%	70%

從表 5 來看 X drive 成功率的平均值為 100%，而 Standard drive 在 18:1 齒輪組的平均值為 67.5%，在 36:1 齒輪組的平均值為 70%。雖然 36:1 齒輪組的成功率有提升，不過仍然比 X drive 的平均值低。

伍、討論

本次研究主要針對不同底盤驅動結構在行動性、拖曳性與準確性表現進行評估，本章節針對研究結果進一步討論導致差異的可能因素進行說明。

本次研究結果顯示在行動性表現上 X drive 優於 Standard drive，由結果顯示 X drive 可以發揮較高的移動速度，X drive 的底盤驅動結構可能比較適合需要高速移動的比賽任務，透過高速移動可以越快抵達任務地點完成任務，這對於僅有 2 分鐘的比賽，高速移動往往代表能夠在賽場上獲得先機。

為了進一步分析兩種底盤驅動結構在行動性表現的差異的原因，進一步分析實驗設計時，機器人的重量相同、馬達輸出相同，那麼造成的原因就可能是輪子與場地的摩擦力。依照牛頓定律摩擦力計算公式為：

物體與地面的摩擦力=重量 x 摩擦係數

要證實輪子與地墊的摩擦力造成行動性顯現的差異，受先需要測量物體與地面的摩擦力，透過電子拉力機的協助可以得知當拉動底盤驅動結構時所需要的力(摩擦力)，在重量相等情況下可以算出底盤的摩擦係數(輪子的摩擦係數)。

不同的底盤驅動結構分別進行 10 次摩擦力測試，所得到的地面摩擦力平均值製作成表 6。

表 6.不同底盤驅動結構摩擦力比較表

	X drive	Standard drive
地面摩擦力平均值(單位:牛頓 N)	11.71N	12.84N

從表 6 可以看到 X drive 的地面摩擦力約為 11.71N，而 Standard drive 的地面摩擦力為 12.84N，在相同的重量情況下，兩種底盤驅動結構中輪子的擺放位置產生不同的摩擦係數，從地面摩擦力實驗來看，X drive 的傾斜 45 度的輪子結構相較於 Standard drive 輪子結構，可能具有較小的摩擦係數，較小的摩擦係數

對底盤而言具有起步快、加速快的優勢，因此 X drive 底盤驅動結構在行動性表現上優於 Standard drive。

在拖曳性表現上本次研究顯示 Standard drive 可以提供較大的拉力，X drive 就算換上 36:1 的齒輪組仍然無法輸出 Standard drive(18:1)齒輪組。這個結果顯示 X drive 在提高行動力表現的同時也失去拉力表現。在 VEX V5 比賽中常常有障礙物需要機器人越過，或是爬上平台獲得高分，此外在場地上或許需要移動較重的比賽得分套件，或是與其他機器人拉扯，這時候拉力表現就扮演重要的功能。

以力學的角度來看，如果假設輪子的輸出為 $1.414\text{N}(\sqrt{2}\text{ N})$ ，以 X drive 來看分力，向前的力只剩下 1N (圖 33 所示)，如果四顆馬達所造成的差異就更大，Standard drive 的拉力比 X drive 多 1.626N ，所以說 X drive 的拉力一定遠遠落後 Standard drive。

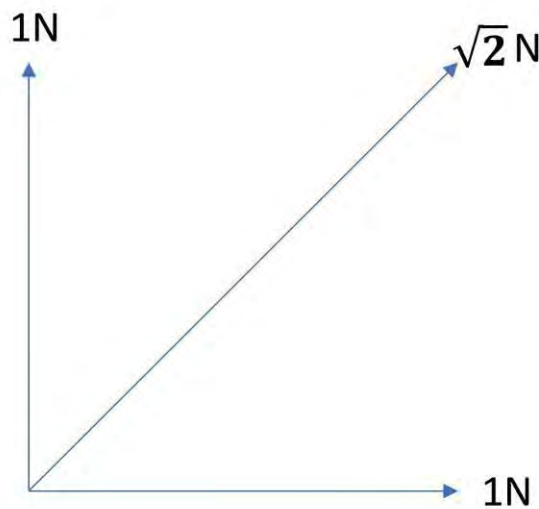


圖 33. X drive 輪子拉力分力圖

在準確性表現上，X drive 在自動賽的表現優於 Standard drive，在實驗過程中常常發現特別是 Standard drive 在轉彎時比較容易碰觸到場地圍欄，導致偏差現象發生，雖然我們有利用慣性陀螺儀與 PID 自動控制修正，不過自動修正需要花一些時間方可以將底盤調整到預設的角度。

由於 X drive 在轉彎時不需要進行轉彎過程，只要改變輪子的輸出方向即

可以完成轉向的工作。為了清楚說明為什麼 Standard drive 在轉彎時容易碰撞到金屬護欄，特別繪製圖 34 Standard drive 迴轉半徑與面積說明圖加以說明。

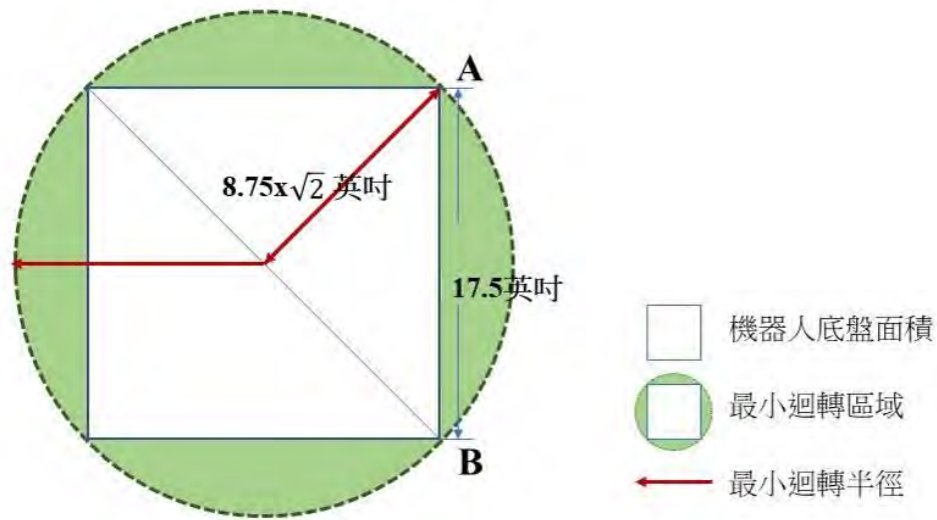


圖 34. Standard drive 迴轉半徑與面積說明圖

從圖 34 來看，白色正方體代表 Standard drive 底盤面積(17.5 英寸 x 17.5 英寸)，當底盤進行轉彎 90 度時(從 A 點到 B 點)，此時的迴轉半徑為 $8.75\sqrt{2}$ 英寸，當轉彎時需要與原來底盤面積更大的面積(綠色區域)，造成底盤結構碰觸到場地金屬護欄，讓底盤產生較大的轉向誤差。由於需要較大的迴轉面積，導致底盤容易受到外在環境的影響造成轉彎角度偏，最後影響準確性的表現。

歸納上述原因:1.PID 自動控制修正需要調整時間、2. Standard drive 迴轉半徑與面積過大，導致 Standard drive 在準確性表現較低的結果。

本次研究主要針對不同底盤驅動結構在行動性、拖曳性與準確性表現進行評估，總結上述的討論結果進行評估完成比較表(表 7 所示)。

表 7. 不同底盤驅動結構總體表現比較表

	第一名		第二名
移動性	X drive	>	Standard drive
拖曳性	Standard drive	>	X drive
準確率	X drive	>	X drive

從表7來看在本次實驗結果顯示在行動性表現上X drive優於 Standard drive，在拖曳性表現上Standard drive優於X drive，在準確性表現上則是X drive優於Standard drive。

陸、結論

本次研究結果顯示不同的底盤驅動結構在行動性、拖曳性與準確性都有不同的表現，在行動性表現X drive由於輪子的排列構造可形成較低的摩擦係數，低摩擦係數讓X drive有著高速移動的能力，能夠快速在比賽場地上迅速移動，爭取更多得分機會。雖然Standard drive的移動速度較慢，不過由於其結構比較簡單，除了更換齒輪組(gear cartirages)還可以透過外加的齒輪組合來獲得更高的速度，彌補先天的弱勢。

研究結果中顯示Standard drive具有拖曳性表現優勢，這是X drive先天的弱勢。或許可以透過其他的齒輪組何來提高其拉力，例如當改用36:1的齒輪組(gear cartirages)時X drive的拖曳性表現就優於18:1的齒輪組(gear cartirages)，不過值得一提的是，X drive的輪子結構有其複雜性，只能利用更換馬達的齒輪組(gear cartirages)來提升拖曳性表現，如果要再利用額外的齒輪結構來提高拉力表現則有其侷限性。

最後在準確性表現上，X drive在執行程式進行自動賽正確抵達任務框的成功率高達100%，顯示X drive在執行自動賽的優勢，歸納這個成因有可能是因為X drive的四個輪子與車身呈現往內呈現45度角的結構，可能這個結構讓機器人在轉彎時不用考慮迴轉半徑與面積的問題，比較不容易受到場地影響，在轉彎時能夠順利完成轉彎，提高抵達任務框的成功率。

反觀Standard drive由於轉彎時需要考慮迴轉半徑與迴轉面積問題，容易受到場地空間物體影響，例如場地金屬護欄，造成轉彎角度偏差，雖然有PID自動控制程式可以進行修正，但是PID修正需要時間進行調整，如果兩次轉彎的時間過於接近，可能導致誤差角度持續累加，嚴重影響準確性表現。

在這次研究中我們歸納出以下重點，X drive 的結構複雜，尤其需要額外撰寫程式來控制四顆角度不同的馬達轉向來達成前進、後退、右移、左移與轉彎等複雜的移動任務。雖然有著高速移動的優勢，但是較高的行動性需要付出低拉力輸出的代價，而且要直接從底盤動力輸出結構來提升拖曳性表現有其困難度，尤其在面對需要跨過障礙物的障礙賽或是需要爭搶比賽得分套件之對抗性比較強的過程，X drive 底盤往往容易趨於劣勢。

雖然 X drive 在拖曳性表現不如 Standard drive，但是在去年 V5 比賽中快速移動性與自動賽的較高的準確性讓 X drive 底盤大放異彩，回顧當年度比賽中成績優異的賽隊中大多選擇 X drive 當作設計底盤，換言之 X drive 底盤結構仍有其優異性。

Standard drive 在拖曳性表現完全領先 X drive 的表現，不過大拉力輸出所付出的代價就是移動速度變慢，這在比賽場地需要爭搶得分套件的過程中尤其弱勢。雖然 Standard drive 的行動性表現雖然略低於 X drive，但是 Standard drive 因為結構簡單所以可以透過其他齒輪組合方式提高行動性表現。

實驗中由於 Standard drive 在自動賽時候由於轉彎需要較大的迴轉半徑與面積，比較容易受到場地環境因素影響，造成移動位置不容易精確掌控。後續針對準確性部分可以仰賴外部感應器的輔助來提高準確性，例如光學距離感應器 (optical distance sensor)、optical rotation sensor 等提供相關數據來穩定機器人表現。

V5 機器人比賽充滿挑戰性，透過本次的研究可以發現每一種機器人的優勢與侷限性，研究發現讓我們進一步了解各種底盤的優勢，以及思考如何利用外部結構、感應器輔助來突破現有的侷限性。這些研究發現對於來年的比賽提供重要的資訊與自我學習與努力的方向，在未來的一年中可以針對底盤結構的侷限性能夠持續探究，分析與找出解決之道，期望在未來的比賽能夠有更好的成績。

參考文獻

一、中文部分

碼高機器人教育(2017)。VEX EDR 基礎入門與 Robot C 編程案例。北京：機械工業出版社。

周偉謨、沈育如(2020)。VEX IQ 機器人基礎篇:進入 VEX Robotics 的世界。新北市:碩亞數碼科技有限公司。

黃昱誠、陳宥潔、陳怡翔、黃昭銘(2021)。有「感」而發-探討外部感應器對機器人競賽表現效能評估。ICEET 2021 數位學習與教育科技國際研討會。台北:國立政治大學。

黃冠渝、黃英哲 (2018 年 10 月 18 日)。自駕車置中行駛的科技：PID 控制——讓自駕車各行其道(一)。科技大觀園。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/sTCZ.htm>。

黃冠渝、黃英哲 (2018 年 10 月 18 日)。自駕車置中行駛的科技：PID 控制——讓自駕車各行其道(二)。科技大觀園。取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/sTCB.htm>。

什麼是 PID 控制？兩分鐘快速理解 PID 的本質！(2020 年 3 月 22 日)。圖靈雞科技俱樂部。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=VRUSG7G58yY>。

二、英文部分

How to program VEX IQ precise turn with VEXcode blocks by Caution Tape Robotics. (January 16th, 2021). Retrieved January 31, 2020, from <https://www.cautiontape.ca/program-vex-iq-precise-turn-with-vexcode-blocks/>

How to make VEX IQ robot drive straight with VEXcode blocks by Caution Tape Robotics. (January 16th, 2021). Retrieved January 31, 2020, from <https://www.cautiontape.ca/vex-iq-robot-drive-straight-with-vexcode-blocks/>