

cd2025 協同產品設計實習

期末專案報告

YouBot 投籃機器人模擬系統

學員代號：41223113 41223114 41223116 41223130 412231141 412231149

專案網址：<https://mdecd2025.github.io/hw-kim41223114/content/index.html>

課程：cd2025 協同產品設計實習

專案類型：Final 期末專案 (30%)

完成日期：2025年06月

目錄

1. 專案摘要
2. 專案目標
3. 系統架構設計
4. 技術實現
5. YouBot 移動控制系統
6. 投籃機構設計
7. 計分與顯示系統
8. 球體管理系統
9. 協同操作平台
10. 測試與驗證
11. 學習心得
12. 結論與展望

1. 專案摘要

本專案旨在建立一個基於Webots模擬環境的YouBot投籃機器人系統，整合移動控制、投籃機構、自動計分、球體管理與協同操作等功能。透過cd2025協同產品設計實習課程的學習，掌握機器人模擬技術、Python程式設計、以及多人協同開發的實務技能。

專案採用模組化設計理念，將複雜的機器人系統分解為五個主要子系統，每個子系統負責特定功能並相互協作。透過Webots提供的豐富API與物理引擎，實現了高度真實的機器人模擬環境。

專案重點：本專案不僅是技術學習的成果展現，更是團隊協作與問題解決能力的綜合體現。

2. 專案目標

本專案設定了明確的學習目標，涵蓋技術技能、軟技能以及實務應用等多個面向：

1. 掌握Webots機器人模擬環境的建構與操作

學習場景樹建構、物理參數設定、感測器配置等核心技能

2. 學習YouBot四輪全向移動控制原理與實作

理解Mecanum輪運動學原理，實現前進、後退、側移、旋轉等運動模式

3. 設計並實現多關節投籃機構的運動控制

建立三軸關節系統，實現精確的投籃動作序列控制

4. 開發自動計分系統與七段顯示器控制

整合感測器偵測與視覺顯示，建立即時計分與狀態管理系統

5. 建立球體管理與自動補給機制

設計物理真實的球體模擬與智慧補球流程

6. 整合IPv6網路與WebSocket通訊協定

實現多人協同操作平台，支援即時互動與觀察

7. 培養協同開發與團隊合作能力

學習版本控制、任務分工、溝通協調等軟技能

8. 提升問題解決與系統整合技能

培養分析問題、設計解決方案、除錯優化的綜合能力

3. 系統架構設計

本專案採用模組化設計理念，將整個系統分為五個主要子系統：

子系統名稱	主要功能	核心技術	介面協定
投籃輪車系統	四輪全向移動與投籃發射	YouBot平台、多關節控制	鍵盤輸入、WebSocket指令
籃框架系統	可移動籃框與得分判定	隨機運動控制、TouchSensor	Emitter訊息傳遞
球體控制系統	球體生成、管理與自動補給	物理模擬、機構設計	DistanceSensor偵測
計分顯示系統	七段顯示器控制與遊戲狀態管理	材質動態控制、數字編碼	Receiver訊息接收
通訊系統	多人協同操作與信號傳遞	Emitter/Receiver、WebSocket	JSON格式資料交換

3.1 系統整合架構

各子系統透過標準化的通訊協定進行資料交換與功能協調：

- **控制指令流**：鍵盤/WebSocket → YouBot控制器 → 馬達執行
- **得分訊息流**：籃框感測器 → Emitter → 計分板 → 七段顯示器
- **補球觸發流**：球體偵測 → 主控制器 → 補球機構執行
- **狀態監控流**：各子系統 → Supervisor → 協同平台

4. 技術實現

4.1 Webots環境設定

使用Webots R2023b版本建立模擬環境，包含以下核心組件：

- **WorldInfo節點**：設定重力加速度(9.81 m/s²)、基本時間步長(32ms)、物理引擎參數
- **Viewpoint節點**：配置觀察視角，支援動態追蹤與多角度切換
- **TexturedBackground**：提供場景背景與環境光源
- **RectangleArena**：建立標準化競技場環境，包含地板與圍牆

4.2 Python控制器開發

開發多個Python控制器處理不同功能模組，採用物件導向設計確保程式碼可維護性。控制器主要包含YouBot移動控制、投籃機構控制、計分板管理與WebSocket通訊等功能模組。

4.3 控制器架構設計

採用狀態機模式管理複雜的機器人行為，主要狀態包括：

- **IDLE狀態**：待命狀態，等待控制指令
- **MOVING狀態**：移動狀態，執行運動控制
- **AIMING狀態**：瞄準狀態，調整投籃角度
- **SHOOTING狀態**：投籃狀態，執行發射動作
- **RELOADING狀態**：補球狀態，等待球體補給

5. YouBot移動控制系統

5.1 四輪Mecanum全向移動原理

YouBot採用四個Mecanum輪實現全向移動能力。每個Mecanum輪配備多個45度角排列的輥子，透過控制四輪的轉向與速度組合，可實現多種運動模式：

運動模式	輪速設定	物理原理	應用場景
前進移動	(1, 1, 1, 1)	四輪同向轉動	直線移動至目標位置
後退移動	(-1, -1, -1, -1)	四輪反向轉動	避障、重新定位
左轉旋轉	(-1, 1, -1, 1)	左右輪相反方向	調整朝向、搜尋目標
右轉旋轉	(1, -1, 1, -1)	左右輪相反方向	調整朝向、搜尋目標
左側移動	(-1, 1, 1, -1)	對角輪同向控制	側向避障、平行停車
右側移動	(1, -1, -1, 1)	對角輪同向控制	側向避障、平行停車

5.2 運動控制實作

實作精確的運動控制需要考慮目標距離計算、方向角度調整、速度控制與路徑規劃等技術要點。系統支援點對點移動、軌跡追蹤與動態避障等功能。

5.3 鍵盤控制介面

實作直觀的鍵盤控制介面，支援即時操作與精確控制：

- **W/S鍵**：前進/後退控制，支援變速
- **A/D鍵**：左轉/右轉控制，支援精確角度調整
- **Q/E鍵**：左側移/右側移，實現橫向移動
- **Space鍵**：觸發投籃動作，執行完整發射序列
- **R鍵**：重置位置，回到起始點

6. 投籃機構設計

6.1 多關節結構設計

投籃機構採用三關節串接設計，每個關節負責特定的運動功能：

關節名稱	運動功能	旋轉範圍	最大速度	控制精度
基座關節	水平朝向控制	-180° 到 +180°	1.0 rad/s	±1°
仰角關節	投射角度調整	0° 到 +90°	0.8 rad/s	±0.5°
發射關節	投籃力道控制	-45° 到 +45°	2.0 rad/s	±0.2°

6.2 動作控制邏輯

設計完整的投籃序列動作，確保精確性與一致性。投籃流程包含基座旋轉對準、仰角調整、發射執行與機構重置等階段，每個階段都有對應的狀態管理與時序控制。

6.3 投籃精度優化

為提升投籃精度，實作以下優化策略：

- **動態軌跡計算**：根據目標距離自動調整發射角度與力道
- **風阻補償**：考慮球體阻力係數，修正投射參數
- **機構誤差校正**：透過感測器回饋修正關節位置偏差
- **學習型調整**：記錄投籃結果，逐步優化參數設定

7. 計分與顯示系統

7.1 七段顯示器控制

採用三位數七段顯示器顯示得分，每個顯示器包含7個區段(a-g)。透過動態修改Material的diffuseColor屬性控制區段亮滅狀態，實現0-9數字的完整顯示功能。

7.2 得分判定機制

在籃框下方設置TouchSensor感測器精確偵測球體通過事件：

- 感測器配置：籃框下方設置多個TouchSensor，形成偵測網格
- 觸發條件：球體完全通過籃框且觸發時間超過閾值
- 防重複計分：設定冷卻時間避免單次進球重複計分
- 誤判過濾：結合球體速度與軌跡判斷有效得分

7.3 即時狀態管理

計分系統同時管理多項遊戲狀態資訊：

狀態項目	顯示位置	更新頻率	資料來源
當前得分	主要七段顯示器	即時更新	籃框感測器
投籃次數	輔助顯示器	每次投籃	發射機構
剩餘球數	球數指示器	補球時更新	球體管理系統

8. 球體管理系統

8.1 籃球物理模擬

使用Solid節點結合Sphere幾何體建立真實的籃球模型，關鍵物理參數設定如下：

- 質量：0.6 kg (符合標準籃球重量)
- 半徑：0.12 m (標準籃球尺寸)
- 彈性係數：0.8 (適度彈跳效果)
- 摩擦係數：0.4 (真實地面摩擦)
- 阻力係數：0.02 (空氣阻力影響)

8.2 自動補球機制

設計智慧補球系統確保遊戲連續性。系統持續監控場地內球體數量與位置，當偵測到球體不足時自動觸發補球流程。補球機構包含球體收集區、傳送機構與分發系統。

8.3 球體狀態追蹤

實作完整的球體生命週期管理：

- 生成階段：在指定位置創建新球體，設定初始物理狀態
- 活動階段：追蹤球體位置、速度、與其他物體的交互
- 得分階段：偵測進球事件，觸發計分與特效
- 回收階段：球體離開範圍時自動回收，準備重新使用

9. 協同操作平台

9.1 IPv6網路架構

採用IPv6網路技術建立穩定的協同操作環境：

- **位址配置**：每位學員分配固定IPv6位址
- **DNS對應**：提供易記的符號名稱
- **防火牆設定**：開放1234埠號供Webots串流使用
- **啟動指令**：使用 `webotsw --stream` 啟動串流服務

9.2 WebSocket通訊協定

開發WebSocket伺服器支援多客戶端即時通訊。伺服器處理客戶端註冊、訊息路由、狀態同步等功能，使用JSON格式進行資料交換，確保通訊協定的標準化與擴展性。

9.3 多人協同控制

實作公平且穩定的多人協同機制：

功能特性	實作方式	優點	應用場景
指令排隊	FIFO佇列管理	避免指令衝突	多人同時操作
權限控制	輪流操作機制	確保公平性	競爭性遊戲
觀察者模式	只讀連線	支援更多觀眾	教學展示

10. 測試與驗證

10.1 功能測試

建立完整的測試案例確保系統各功能正常運作：

1. YouBot移動控制測試

- 前進/後退功能驗證 (速度精度 $\pm 5\%$)
- 左右旋轉功能驗證 (角度精度 $\pm 2^\circ$)
- 側移功能驗證
- 組合運動測試 (斜向移動、曲線運動)

2. 投籃機構測試

- 關節運動範圍驗證
- 投籃序列動作測試
- 投射精度評估 (目標命中率 $> 60\%$)
- 連續投籃穩定性測試

3. 計分系統測試

- 進球偵測準確性 (漏檢率 $< 2\%$)
- 七段顯示器更新驗證
- 防重複計分機制測試

10.2 效能評估

監控系統效能指標確保最佳使用體驗：

效能指標	目標值	測量方法	優化策略
模擬幀率	$> 30 \text{ FPS}$	Webots內建監控	場景複雜度優化
記憶體使用	$< 512 \text{ MB}$	系統監控工具	資源回收機制
網路延遲	$< 100 \text{ ms}$	WebSocket ping測試	協定優化、壓縮

10.3 壓力測試

評估系統在極限條件下的穩定性與可靠性：

- **高頻操作測試**：每秒10次指令輸入，持續10分鐘
- **多球碰撞測試**：同時存在10顆球的碰撞模擬
- **長時間運行測試**：連續運行4小時無故障
- **網路波動測試**：模擬不穩定網路環境下的運行

11. 學習心得

11.1 技術技能提升

透過本專案的完整開發過程，在多個技術領域獲得顯著提升：

核心技術收獲：

• Webots機器人模擬技術

- 掌握場景樹建構與節點配置方法
- 理解物理引擎參數對模擬真實性的影響
- 學會感測器與執行器的整合應用
- 熟練使用Supervisor API進行高級控制

• Python程式設計能力

- 物件導向設計模式在機器人控制中的應用
- 狀態機模式管理複雜系統行為
- 異步程式設計處理網路通訊
- 例外處理與錯誤恢復機制設計

• 系統整合與架構設計

- 模組化設計原則與介面標準化
- 多執行緒協調與資源共享管理
- 實時系統的時序控制與同步機制
- 分散式系統的通訊協定設計

11.2 問題解決能力發展

專案開發過程中遇到的技術挑戰培養了系統性問題解決能力。從問題識別、方案分析、實作驗證到最佳化改進，每個階段都提升了獨立解決複雜技術問題的能力。

11.3 團隊協作經驗累積

協同開發過程培養了重要的軟技能：

協作面向	具體實踐	學習收獲	應用價值
版本控制	Git分支管理、合併衝突處理	程式碼協作標準流程	工程團隊必備技能
任務分工	模組化開發、介面標準化	專案管理與進度控制	提升開發效率
溝通協調	定期會議、文件共享	跨領域溝通技巧	減少誤解與衝突

11.4 創新思維培養

專案中的創新實踐培養了跳出框架思考的能力：

- 跨領域整合：結合機械、電控、軟體、網路等多學科知識
- 使用者導向設計：從操作體驗出發設計直觀的控制介面
- 效能最佳化思維：在功能與效能間找到最佳平衡點

- 可擴展性設計：為未來功能擴展預留介面與架構空間

12. 結論與展望

12.1 專案成果總結

本專案成功建立了完整的YouBot投籃機器人模擬系統，達成了所有預設的專案目標：

主要成就：

- ✓ 完成五大子系統的設計與整合
- ✓ 實現穩定的四輪全向移動控制
- ✓ 建立精確的多關節投籃機構
- ✓ 開發智慧計分與顯示系統
- ✓ 實作自動球體管理機制
- ✓ 建立多人協同操作平台

系統展現了良好的擴展性與維護性，為後續的功能增強奠定了堅實基礎。專案證明了Webots在機器人教育與研發方面的強大潛力。

12.2 技術創新與貢獻

專案在多個方面展現了技術創新：

- 整合式設計：將機器人控制、遊戲邏輯、網路協同整合於單一平台
- 智慧補球系統：創新的自動球體管理與補給機制
- 多模式控制：支援鍵盤、WebSocket、自動化等多種控制方式
- 即時視覺回饋：七段顯示器與狀態管理的創新應用

12.3 未來發展方向

基於現有成果，規劃以下發展方向：

發展方向	技術重點	預期效益	實現難度
人工智慧增強	機器學習、強化學習	自動最佳化投籃策略	高
多機器人協作	分散式控制、協調演算法	團隊競賽、複雜任務	中高
虛擬實境整合	VR/AR技術、沉浸式介面	提升使用者體驗	中
硬體移植	嵌入式系統、實體機器人	真實環境驗證	高

12.4 實用價值與應用前景

本專案所開發的技術與方法具有廣泛的應用價值：

產業應用領域：

- 教育訓練：機器人教學、STEM教育、工程實習
- 工業自動化：生產線機器人、物料搬運、精密組裝
- 服務機器人：清潔機器人、送餐機器人、導覽機器人

- 智慧製造：數位孿生、預測維護、製程最佳化
- 無人載具：自動駕駛、無人機、水下機器人

12.5 個人成長與未來規劃

通過本專案的完整開發過程，不僅在技術層面獲得顯著提升，更重要的是培養了系統性思考、創新設計、團隊協作等核心能力。這些技能為未來在機器人技術、系統整合、產品開發等領域的發展提供了堅實的基礎。

未來將持續深入學習人工智慧、物聯網、雲端計算等前沿技術，結合機器人領域的專業知識，朝向智慧機器人系統架構師的目標努力。

cd2025 協同產品設計實習 期末專案報告

學員：kim41223114 | 完成日期：2025年06月 | 頁數：12頁

專案網址：<https://mdecd2025.github.io/hw-kim41223114/content/index.html>