

# 以 AI 探索複雜系統的動態運動生成與控制機制

林沛群 (主持人) 李綱 (共同主持人) 連豐力 (共同主持人)

機械工程學系  
國立台灣大學

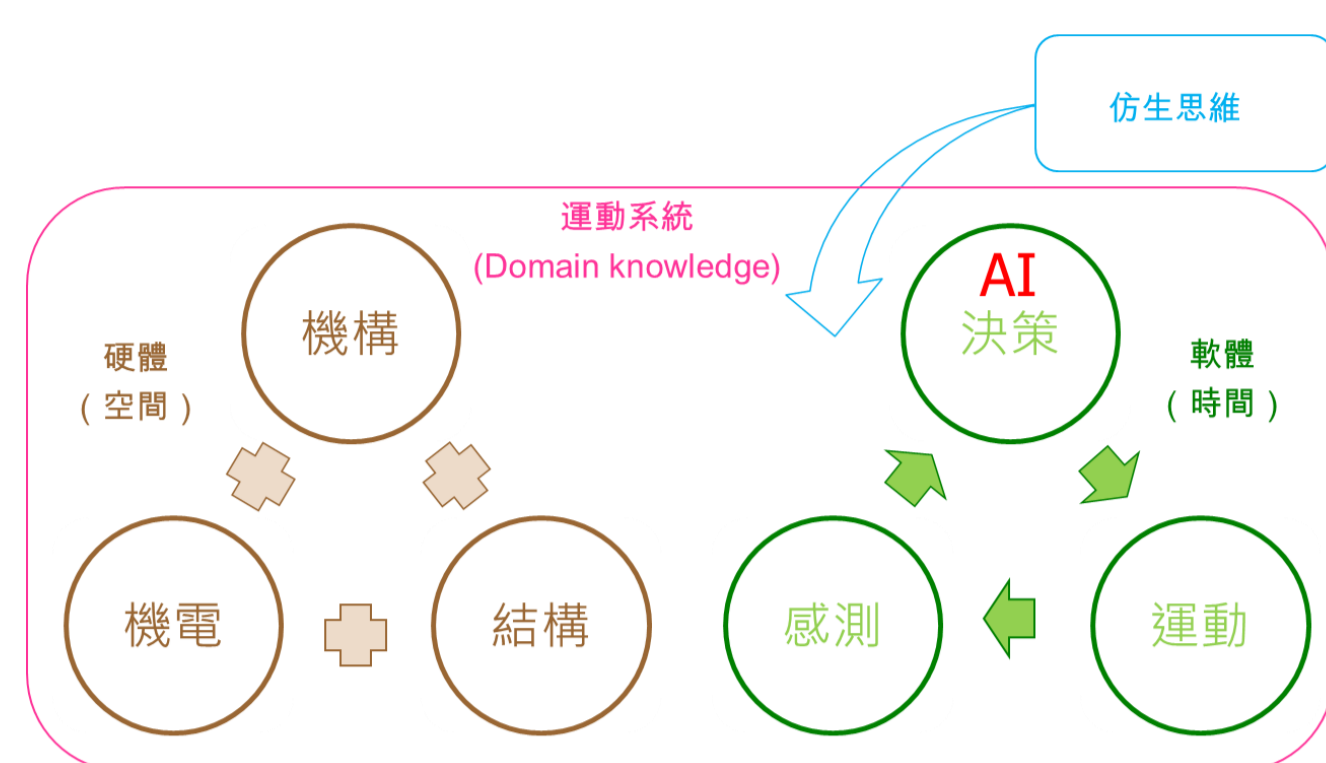
機械工程學系  
國立台灣大學

電機工程學系  
國立台灣大學

計畫參與學生：王霆皓 宋定剛 李東霖 邱子俊 施政宏 高雅然 張哲誠 張瀚元 郭曜嘉 陳永修 陸韋君 曾冠語 黃冠智 楊文杉 楊甯凡 楊皓翔 劉軍 鄭力瑋 鄭惟中

## 計畫核心主軸

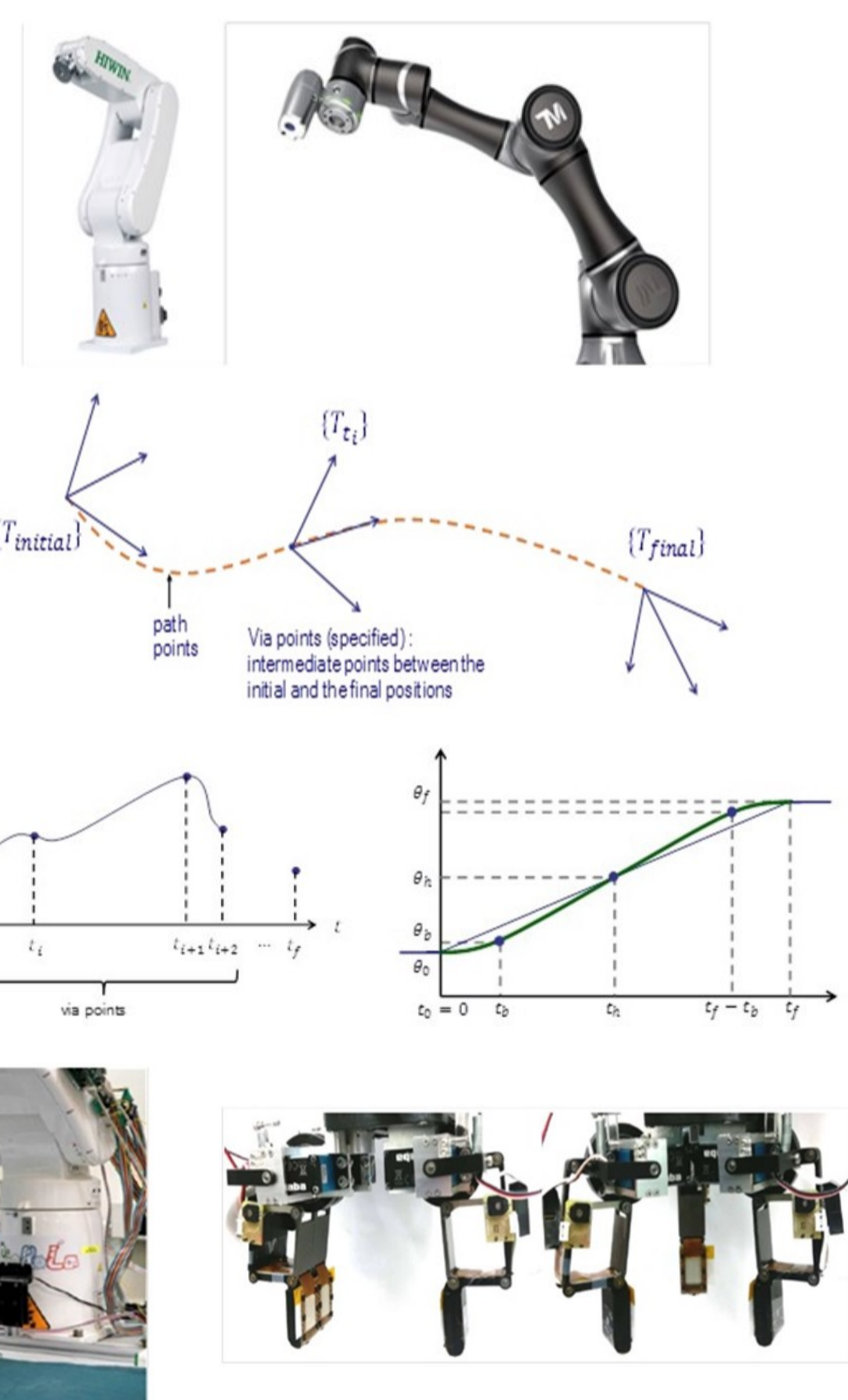
- 以研究複雜系統的**運動機制**為核心，聚焦在**導入 AI 決策**
- 採用 **model-based approach**，探討系統動態和軌跡生成
- 以**機器人**和**智慧車輛**為主要實體測試系統
  - 學理面：高自由度系統的**設計與控制**



## 計畫執行內容、特色、進度、與 End Point

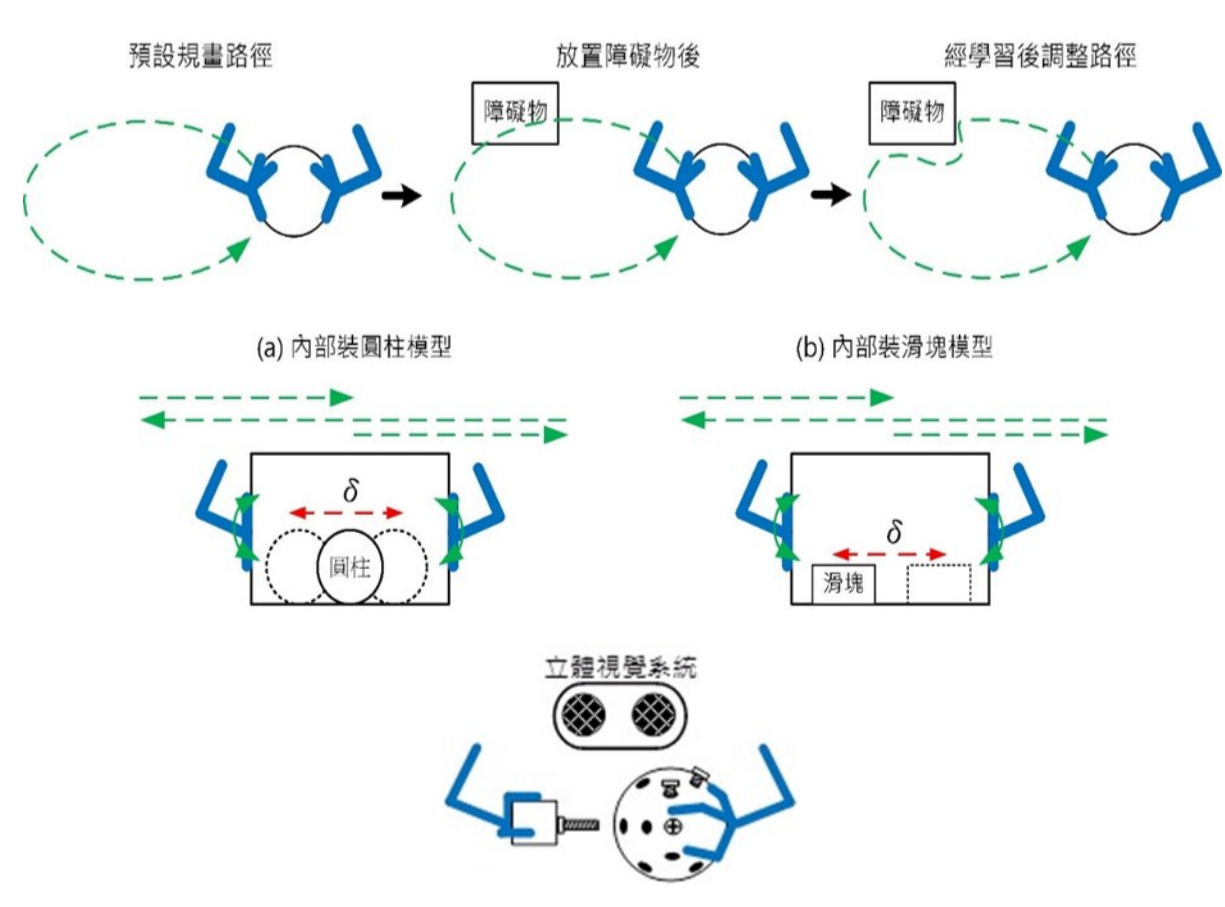
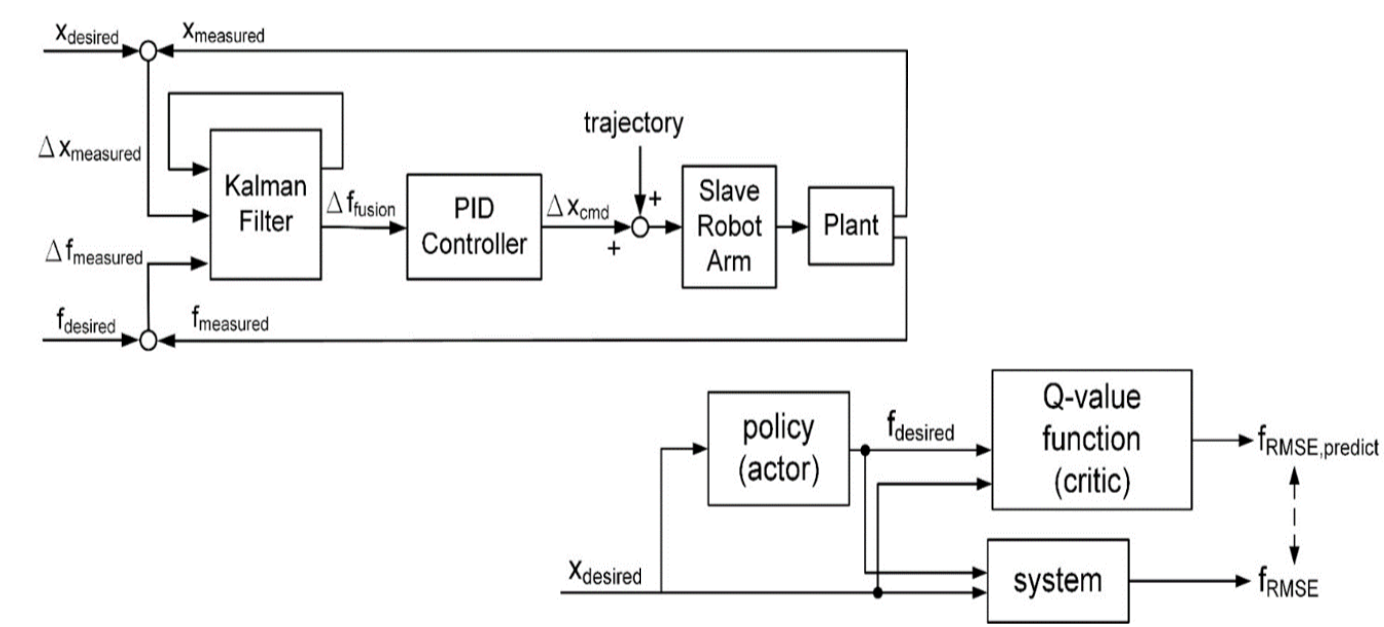
### A. 單機械手臂的高速運動機制與軌跡生成

- 特色：以簡化低自由度手臂動力學模型為基礎 + AI 學習
- End points: 優化之手臂運動軌跡、插件、物件取放
  - (第一年) 以機器學習進行對能或高速等目標的軌跡優化技術
  - (第二年) 以強化學習方式進行不具基礎軌跡的軌跡生成技術
  - (第三年) 以(監督式)強化學習方式進行單機械手臂的插件 peg-in-hole 任務
  - (第四年) 以類神經網路方式進行視覺環境辨識，進行手臂手眼力協調以完成多類型物件取放 pick-and-place 任務
- 軌跡優化
  - 多項式軌跡，進行參數優化
  - 優化 via points 位置
- 軌跡生成
  - 優化 via points 位置
- 建構手臂「三自由度」動力學模型
  - Lagrange & Newtonian methods
- 模型與手臂特性
- 兩階段學習：模型 & 實驗比對
- 由**運動階段**轉移到**操作階段**
- 任務導向
  - 物件辨識：
  - 夾取：簡化幾何+夾取姿態學習
  - 插件：教導



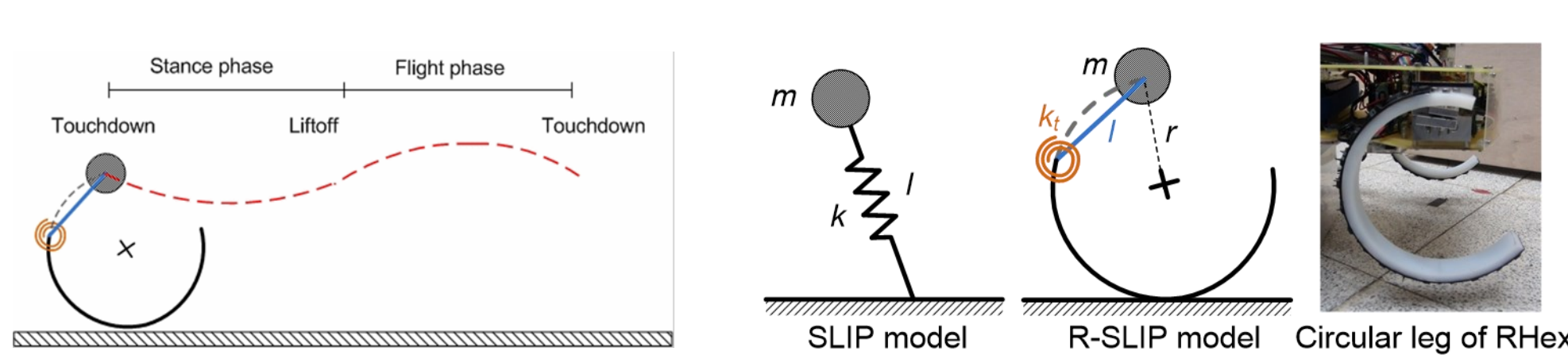
### B. 雙機械手臂的協同操作機制與運動控制

- 特色：聚焦在具力交互作用的雙手操作任務 + 強化學習
- End points: 能抗干擾的夾持與移動不確定物件、非對稱性協同操作
  - (第一年) 進行雙手協同持物的控制演算法
  - (第二年) 搭配順應控制設計進行抗干擾持物的控制演算法
  - (第三年) 協同拿取不確定性物件的控制演算法
  - (第四年) 左右手不對稱手眼力協同操作的控制演算法
- Kalman-filter-based 主從雙手力與位置複合控制架構
  - 以強化學習減少力軌跡誤差
- 導入軌跡抗干擾+避障功能
  - 外部干擾
  - 幾何衝突確認
- 夾持不確定性物件
  - 內部干擾
- 非對稱性雙手操作
  - 手眼力協調



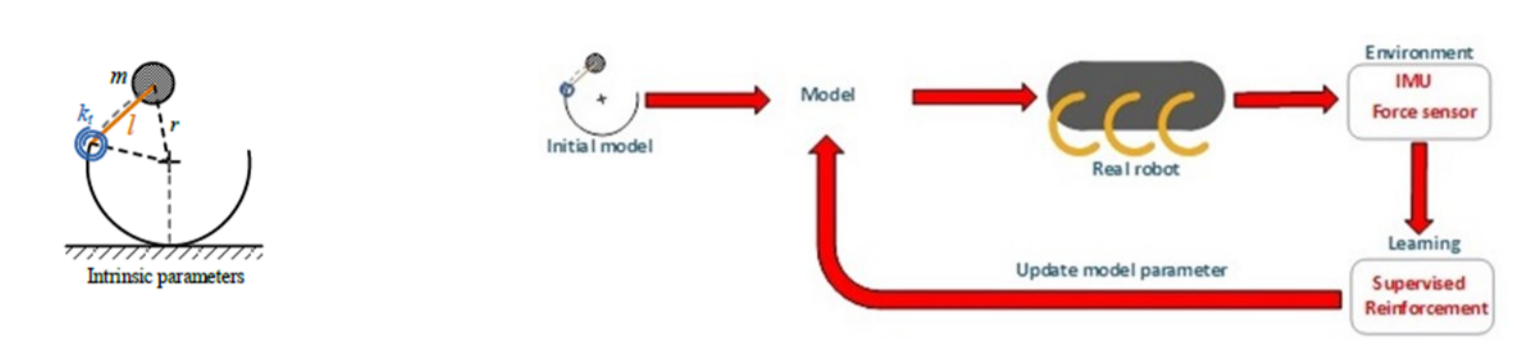
### C. 足式機器人的動態運動機制探索與基礎模型生成

- 特色：以簡化低自由度動態基礎模型為基礎 + AI 學習
- End points: 機器人在崎嶇和不同軟硬地表能展現動態跑跳步態
  - (第一年) 基礎模型適應機器人特性的自主演化
  - (第二年) 不同軟硬地表上基礎模型生成
  - (第三年) 不同地表上回授控制法則與環境偵測技術
  - (第四年) 各式地表的動態運動生成
- Template vs. Anchor



### Template 參數優化

- 針對已知 template 下
- 機器人：R-SLIP + AI (other template + AI)



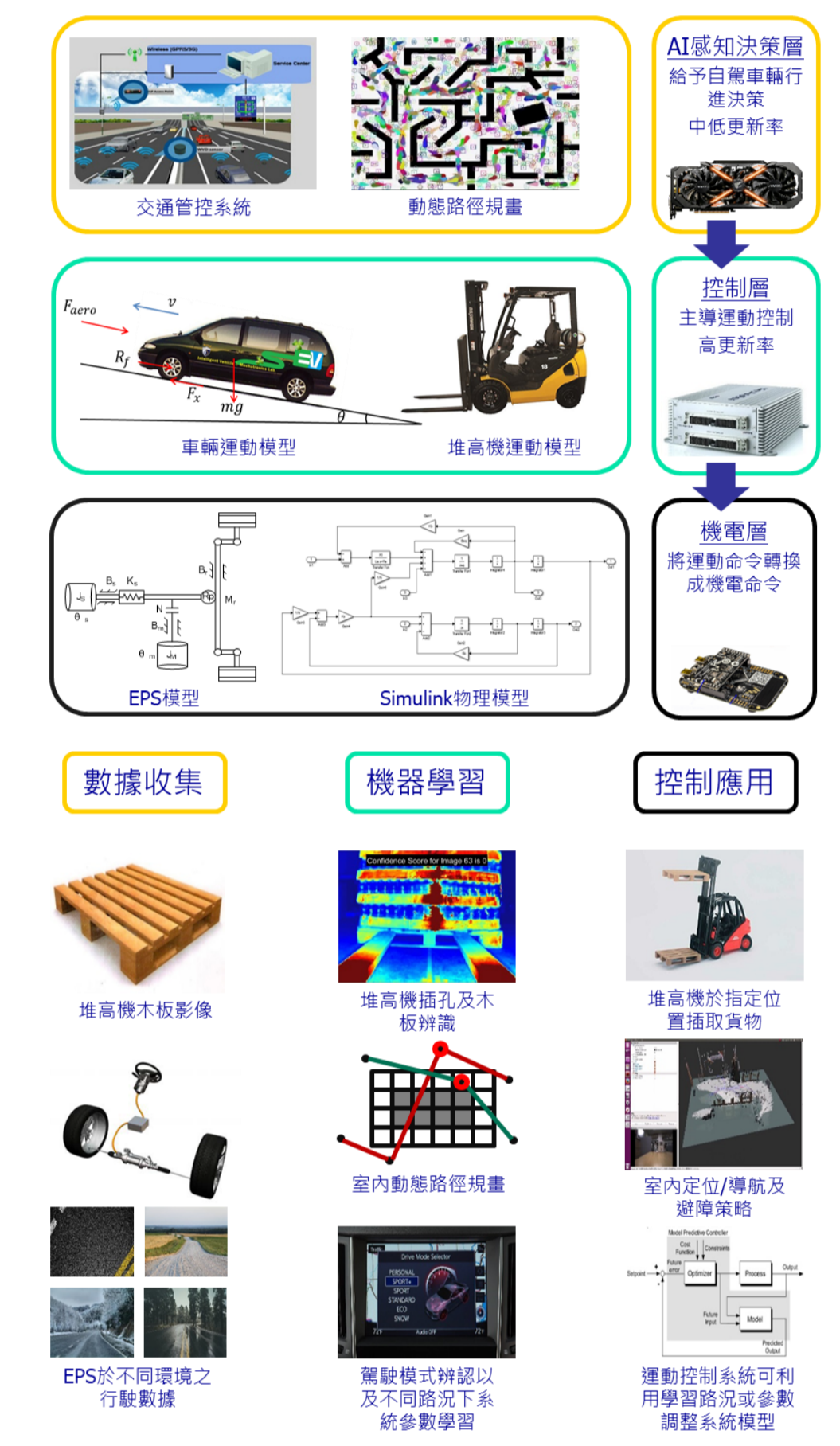
### Template 自動生成

- 找出適合機器人特定 dynamic behavior 的 template



## D. 智慧車輛

- 特色：國內自主技術 x-by-wire 技術與系統整合 + AI
- End points: 無人電動堆高機自主運行、三個尺度車輛的 x-by-wire 技術與 XiLS 虛擬車輛驗證平台
  - (第一年) 智動化車輛 x-by-wire 次系統動態測試資料庫建構與 XiLS 虛擬驗證平台整合及 AI 操控技術探索
  - (第二年) 運用 A.I. 深度學習技術提升無人駕駛堆高機於高度可變動態場域之自主定位與運動路徑規劃能力
  - (第三年) A.I. 技術應用於無人駕駛堆高機之高準確度三維自主操控技術開發
  - (第四年) A.I. 技術應用於 x-by-wire 次系統故障/失效類別線上自我診斷技術開發
- 以 Model-based control 為基礎 Bottom-up 方式建立智能化運具/車輛之操控系統
- 控制層經由載具之動力學與機電系統模型計算控制命令，確保載具之安全性與系統功能可靠性
- AI 感知與決策層+控制層賦予智慧自動化運具所需之自主決策與學習能力
- 無人駕駛堆高機亦可以同樣的系統架構開發
- 結合相機及 2D/3DLidar 偵測與判斷貨物及木板位置，利用 AI 技術學習強化自駕堆高機之自主操控能力
- 以 AI 學習方式結合 SLAM 所製作之室內地圖，並以最佳化方式規劃 A 點至 B 點路徑，並於途中辨別障礙物進行閃避
- 以學習方式辨識目前駕駛之路況/車輛狀態等等，結合控制層所使用的模型預測控制(MPC)進行線上模型參數調校，進而調整演算法運算結果達到最佳化控制目的



## E. 人類動作操作技能與仿效

- 特色：以人工智慧的深度學習的工具將人類的的生活經驗與工作技能進行記錄與仿效，分析出其精髓，以及演化出新的經驗與技能的實現模式。
- End points: 以道路駕駛與生產製造為主要研討案例，開創感知感測與經驗記憶演化與動作驅動模式。
  - (第一年) 對應交通駕駛與機械加工之決定性因素以及建立學習法則之關係式。
  - (第二年) 不同狀態與產品之間的模式差異性與學習法則之分析與推論模組。
  - (第三年) 不同動態特性與操作者的差異性，建立學習理論架構與展現平台。
  - (第四年) 高動態性與高複雜性的關係模式與對應行為模式的關係與決策法則。

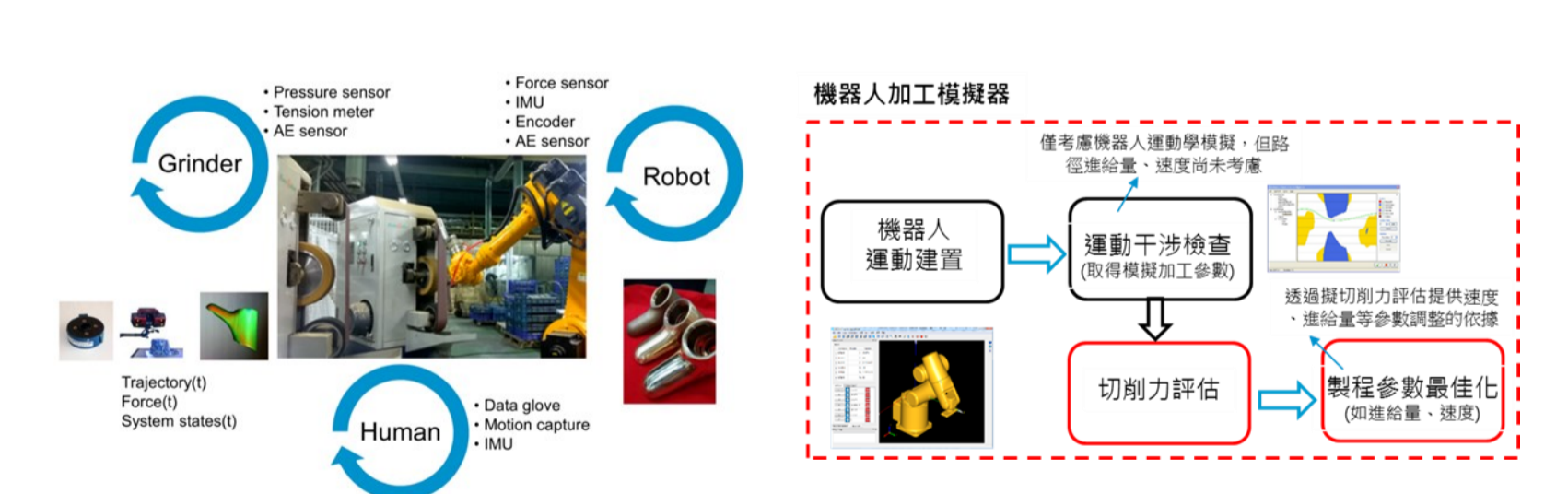
### 駕駛環境認知與車輛操控決策

- 資訊收集
- 分析彙整
- 決策形成



### 加工工作法學習與機械手臂模擬仿效

- 過程動態數據收集
- 核心因子分析
- 規劃仿效工作軌跡



## 技術盤點

	AI Sensing	AI Decision/Learning	AI Motion
分項一 Single-arm manipulator	Vision-force sensing/perception	Sensing-based task learning	Arm trajectory generation/optimization
分項二 Dual-arm manipulator	Cooperative vision-force sensing	Sensing-based arm cooperation	Dual-arm motion cooperation
分項三 Legged and mobile robots	Environment sensing	Template evolution Sensing-based legged coordination	Dynamic locomotion generation
分項四 Autonomous vehicle	Multi-dim sensing Mechatronic sensing	X in the loop modeling	Vehicle dynamics Motion planning
分項五 Technique & Experience	Internal & external sensing Technique recording Experience recording	Input-output model learning Behavior characterization	Behavior generation

## 預期效益與成果

- 培養 4 位以上的博士生和 20 位以上的碩士生，具備機器人和智慧車輛和 AI 整合的軟體系統整合專業人才
- 建立以台灣為根基，具國際合作能力的機器人和智慧車輛動態運動研究團隊
- 12 篇以上機器人和智慧車輛相關領域 SCI 論文 (包含 6 篇在 Tier 1)
- 28 篇以上機器人和智慧車輛相關領域的國際研討會論文 (包含 14 篇在旗艦或收錄於 EI 之會議)
- 3 件以上專利申請
- 3 件以上技術轉移到機器人或智慧車輛相關產業
- 2 份以上技術報告，內含本計畫技術在實際場域測試中進行驗證與測試之成果，直接對準法人與業界需求，以即時讓產業獲得成效與產生產值
- 1 份機器人與 AI 相結合的科普教材，目標年齡層 9-16 歲學生和普羅大眾，規劃在公開教育場合 (如科教館) 等地展示或開辦實做工作坊