

AiR

Journal of Automation Intelligence and Robotics



智慧自動化產業期刊

2025

08

no.

54



INFINITE POSSIBILITIES. TRANSFORM ROBOTICS.

The future of robotics: Intelligent, Real-time, Human-aware.

無邊創新，驅動智慧機器人紀元

智 馭 未 來 ： 仿 生 機 器 人



From inspection to collaboration, this is the future of automation
That's the power of Intel Inside®

intel®

 **TAIROA**

Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會



台灣機器人與 智慧自動化展

Taiwan Automation Intelligence and
Robot Show



台北國際 自動化工業大展

Automation Taipei

2026/8/19(三) - 22(六)

台北南港展覽館一、二館



展出項目 Exhibit Profile

- 智慧製造相關
Smart Manufacturing
- 製造設備
Industrial Supply
- 關鍵零組件
Key Components
- AI 人工智慧
Artificial Intelligence (AI)
- 智慧服務(商業應用)
Smart Services (Business Application)
- 服務型機器人
Service Robot

參展諮詢 Contact Us

社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association
陳怡樺小姐 Ms. Fion Chen #14
TEL : +886-4-2358-1866
E-MAIL: service@tairoa.org.tw
展昭國際企業股份有限公司
Chan Chao International Co., Ltd.
黃姝婷小姐 Ms. Candy Huang #122 / 林鈺婷小姐 Ms. Ivy Lin #192
TEL : +886-2-2659-6000
E-mail: automation@chanchao.com.tw

主辦單位 Organizers

社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association
經濟日報
Economic Daily News
展昭國際企業股份有限公司
Chan Chao International Co., Ltd.



TAIROS



Automation

掌握未來趨勢

「機器人工程師」「自動化工程師」證照

全台首創機器手臂術科考試

原理 + 實作 + 證照 = 贏得就業先機

機器人術科考試方式及合格場域資訊
請見官網考試資格及規定



學科考試日程

證照名稱	考試時間	報名時間
「機器人工程師」證照 「自動化工程師」證照	5月/11月	3-4月/9-10月



◆ 機器人工程師及自動化工程師書籍



更多購買資訊及證照考試內容請至協會官網查詢
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會 www.tairoa.org.tw



市場焦點

- 10 經濟與景氣指標**
資料來源：台灣經濟研究院、國家發展委員會、
中華經濟研究院
資料整理：社團法人台灣智慧自動化與機器人協會

台灣的仿生機器人實力

- 24 台灣機器狗的發展與未來展望：結構、運動控制與應用挑戰**
工研院機械與機電系統研究所 黃甦技術總監
- 36 智慧型機器狗之設計與實現**
國立臺灣大學機械系 郭重顯、莊明洋、朱建樺、
郭育丞、劉皓宇、鄭子嘉
- 44 關於四足機器人的一些想法**
國立台灣大學 機械工程學系 仿生機器人實驗室
林沛群、沈意軒、許雅婷、賴彥濃、黃淵濤

國內外企業視角下的 仿生機器人應用

- 54 The Autonomous Workforce Revolution: How ANYbotics is Transforming Industrial Inspections with Legged Robot**
ANYbotics
- 58 四足機器人發展趨勢與系統整合觀點之研析**
台灣智能機器人科技總經理 黃國聰
台灣智能機器人機器人事業處處長 李政育
- 66 人工智慧形態的終點，一定是人形？**
本末科技有限公司

AI 機器人整合應用

- 78 工業電腦為 AI 機器人運算平台創造的競爭優勢**
超恩股份有限公司
- 86 工業機器人手臂之軌跡與能耗最佳化方法研究**
精密機械研究發展中心 陳哲堅副處長
- 98 自主系統與機器人產業推手驅動智慧機器人新時代**
研華科技 自主系統與機器人事業部
市場開發經理 劉宜鑫
- 106 智慧製造中的 AI 關鍵技術**
SIEMENS 西門子股份有限公司
- 112 創建 AI 與功能安全的機器人生態系：引領產業邁向智慧新紀元**
創博股份有限公司
- 116 From Edge to Action: Paving the Way for the Next Generation of Robotic Innovation**
Ricky Watts
Sr. Director Industrial Solutions
Intel Corporation



產學研究

- 124 臺灣智慧自動化人才培育趨勢與系所發展現況：以國立勤益科技大學智慧自動化工程系為實例之產學聯結與育才實踐**
國立勤益科技大學智慧自動化工程系
助理教授 賴嘉宏
國立勤益科技大學智慧自動化工程系
助理教授 彭達仁
國立勤益科技大學智慧自動化工程系
副教授兼任系主任 李榮茂
- 140 利用 MVC 平台建構與應用於智慧工廠自動化整合研究**
龍華科技大學機械工程系 亞洲大學資訊工程學系
沈志陽、涂崇一、丁鯤、陳俞磊、陳睿穎

好書推薦

- 152 我們與機器人的光明未來：建造更美好的世界**
丹妮拉·羅斯 (Daniela Rus)
- 153 無料 AI**
洪錦魁

產業行事曆

- 154 2025 國際參展、參觀一覽表**
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會 整理
- 155 TAIROA 培訓組下半年課程表**
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會 整理

伸縮式三維系統 triflex R TRX

igus[®]
motion plastics



用於工業型機械手臂
節省空間的安裝
回縮長度可達40%

 German Technology



自由、 快速、 靈活！

模組化設計...
輕量化
高效運行



LINE官方帳號 @igustw

快速下單 簡單方便  搜尋: 易格斯線上商店

台灣易格斯有限公司 408215 台中市南屯區工業區24路35號5樓

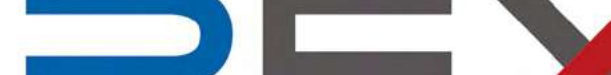
電話:04-2358-1000 www.igus.com.tw

出刊者	社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
地址	40852 台中市南屯區精科路 26 號 4 樓
電話	+886-4-2358-1866
傳真	+886-4-2358-1566



發刊時程	每季一期
本期出版日期	民國 114 年 08 月號
發行期數	期刊，全彩印刷
發行數量	1,000-3,000 本 / 期
發行區域	國內及國外重要機器人與智動化展覽
發行對象	社團法人台灣智慧自動化與機器人協會全體會員，工具機暨零組件業、物流傳動業、汽機車與自行車業、食品製造廠、紡織、電機電子業、五金業等設備或零組件製造商、研發單位及學術機構等，發行對象遍及產業供需體系，國內外展覽會。

編輯單位	社團法人台灣智慧自動化與機器人協會 Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association
期刊編輯小組	絲國一理事長、陳文貞秘書長、張小潔、陳心盈、陳怡樺、辜莉婷
地址	40852 台中市南屯區精科路 26 號 4 樓 4F., No.26, Jingke Rd., Nantun Dist., Taichung City 408, Taiwan (R.O.C.) 10059 台北市新生南路一段 50 號 6 樓 603 室 Rm. 603, 6F., No.50, Sec. 1, Xinsheng S. Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City 100, Taiwan (R.O.C.)
聯絡專線	(04)2358-1866、(02)2393-1413
傳真	(04)2358-1566、(02)2393-1405
電子郵件	service@tairoa.org.tw
網址	www.tairoa.org.tw
美術編輯	找誰設計工作室
投稿說明	(一) 歡迎各界提供智慧製造 / 機器人相關產業趨勢及技術文章，來稿採用匿名審查制度，由本出版單位編輯部與相關學者專家審核之。 (二) 接受刊登之文章，本出版單位得視編輯之需要，決定刊登的版面配置與形式。
版權所有	非經同意請勿轉載。本刊內文文責由作者自負，文章著作權 由本刊享有，欲利用本刊內容者，須徵求社團法人台灣智慧自動化與機器人協會同意或書面授權。

The logo for IREX 2025 International Robot Exhibition. The word "IREX" is in a large, bold, sans-serif font. The "i" is black, "R" is blue, "E" is grey, and "X" is red. Below "IREX" is the text "INTERNATIONAL ROBOT EXHIBITION" in a smaller, black, sans-serif font, with "ROBOT" in blue. To the right of this text is the year "2025" in a large, bold, blue, sans-serif font.

Dec. 3 Wed ... **Dec. 6** Sat
Tokyo Big Sight

歡迎參觀





經濟與景氣指標

景氣概況本次發布日期為 06 月 27 日；
臺灣採購經理人指數本次發布日期為
07 月 01 日

資料來源：台灣經濟研究院、國家發展委員會、
中華經濟研究院
資料整理：社團法人台灣智慧自動化與機器人協會

近期以色列與伊朗正式開戰，且美國軍事介入以伊衝突，情勢升溫恐引發新一波供應鏈衝擊，並進一步推升油價上漲風險。同時，儘管美國政府已採取行動緩解關稅緊張情勢，以穩定整體經濟與金融環境，但其貿易政策走向尚未明朗，不確定性仍高。

在國內方面，雖 AI、高效能運算及雲端等產業需求穩健，惟晶圓代工與封測業因先前下游客戶提前拉貨，導致基期墊高，5 月營收略為回落。此外，5 月新台幣大幅升值，使出口導向產業營收波動更加明顯。同時，部

分傳統產品需求持續疲弱，並受海外同業低價競爭壓力影響，使製造業者對當月景氣看法較上月調查相比更趨保守。展望未來，以伊衝突升溫引發對能源、航運與經濟穩定的憂慮，且各國與美國貿易談判進展不明，全球經濟不確定性仍大，製造業對未來半年景氣多持觀望態度。

服務業方面，受惠於美國科技股利多與美中談判進展帶動，外資大舉買超，5 月台股量價齊揚，推升券商手續費與自營獲利，證券業普遍看好當月景氣，但壽險業受新台幣大幅升值推高避險成本，股債獲利有限，多家陷入虧損，故研判保險業當月景氣續呈衰退。

營建業方面，5 月營造業景氣維持持平，雖科技廠辦與部分大型公共工程如國道、水利建設進度超前，惟電力與軌道工程落後，加上前月有多項廠務與住宅工程完工認列，基期較高，使當月表現未見明顯成長。展望未來，風力、水力及液化天然氣等工程推進可支撐營運，但因關稅不確定性，部分高科技廠房擴建計畫趨於觀望，整體景氣仍以持平看待；受新屋交屋潮支撐，5 月六都建物移轉件數較上月微幅成長，但未來半年受限於央行管控政策持續、房市供給增加、關稅與地緣風險不確定性高，預期房市將呈現交易量縮、價格鬆動，住宅與商用不動產前景皆欠佳。

根據台灣經濟研究院調查結果，經過模型試算後，5 月製造業、服務業與營建業營業氣候測驗點續呈下跌態勢。其中，製造業測

驗點已連四月下跌，服務業與營建業則連五月走弱，惟後兩者當月跌幅已有明顯收斂。

美國方面，美國商務部經濟分析局（BEA）更新 2025 年第一季美國經濟成長數值；第一季 GDP 成長年增率（yoy）較先前上修 0.1 個百分點來到 2.1%。在內需表現上，美國第一季的民間消費與民間投資成長年增率分別為 2.9% 與 6.4%，民間消費較前次估計值下修 0.2 個百分點，民間投資較前次估計值上修 0.5 個百分點。此外，在 2025 年全年度的美國 GDP 方面，鑒於 5 月美中關稅戰暫時停火，關稅稅率下調減輕貿易的直接衝擊，貿易緊張情勢有所緩和，加上金融環境略有改善，根據 EIU 與 S&P Global 於 2024 年 6 月發布的預測，經濟成長率分別上調至 0.5% 與 1.4%。其中，EIU 預測值較前次上修 0.6 個百分點，S&P Global 則調升 0.1 個百分點。

美國就業市場表現方面，美國 2025 年 5 月的失業率為 4.2%，較上月相比維持不變，5 月美國非農新增就業人數由 4 月修正後的 14.7 萬減少至 13.9 萬人，顯示今年以來就業成長動能放緩，5 月新增非農就業主要集中在健康照護、餐飲旅宿及社會福利等服務業領域。另一方面，隨提前進口效應消退，運輸與倉儲業新增就業人數由 4 月的 2.9 萬人降至 0.6 萬人，而受到先前川普政府大規模裁員影響，聯邦政府就業人數較 4 月減少 2.2 萬人。

2025 年 5 月美國消費者物價指數（CPI）年增率升至 2.4%，較上月上升 0.1 個百分點；

扣除食品與能源的核心 CPI 年增率則維持在 2.8%，與上月持平。這顯示關稅對物價的影響目前仍屬有限，主要因企業先前已為避開關稅提前進口商品，並透過價格重談及與供應商分攤成本，有效緩解關稅壓力。建材、汽油與汽車銷售在先前因應關稅的搶購潮過後明顯回落，成為主要拖累因素，令 2025 年 5 月美國零售銷售年增率達 3.3%，較上月修正後的數據減少 1.7 個百分點。受公用事業產出減少及需求轉弱影響，製造業成長動能不足，令 2025 年 5 月工業生產年增率由 4 月的 1.4%降至 0.6%。

在歐洲就業市場表現方面，根據歐盟統計局（Eurostat）最新公布，2025 年第一季歐元區（EA20）經濟成長率達 1.5%，較上季上修 0.3 個百分點。內需表現穩健，民間消費、政府最終消費支出及固定資本形成年增率分別為 1.3%、2.1%與 1.9%，分別貢獻經濟成長 0.7 個、0.4 個與 0.4 個百分點。雖然出口與進口年增率分別達 2.3%與 3.3%，但因進口成長快於出口，國外淨需求對經濟成長造成 0.3 個百分點的負貢獻，為主要拖累來源。然而，在內需動能帶動下，整體經濟仍呈溫和回升。此外，在 2025 年全年度的歐元區 GDP 方面，EIU 與 S&P Global 於 2025 年 6 月份發布預測值均為 0.9%，前者較前次預測值調降 0.1 個百分點，後者則調升 0.1 個百分點。

在就業市場表現方面，歐元區於 2025 年 4 月失業率為 6.2%，與上月修正後數據減少 0.1 個百分點，顯示整體就業市場維持穩定。此外，隨著基期效應消退，5 月服務

價格漲幅明顯收斂，服務通膨回落主要反映 4 月因復活節帶動的季節性上升已不再持續，使得 2025 年 5 月歐元區 CPI 年增率為 1.9%，較上月數值減少 0.3 個百分點，而 5 月歐元區核心 CPI 年增率則為 2.3%，較上月數值減少 0.4 個百分點。受到復活節落點差異（2025 年在 4 月，2024 年在 3 月底），食品、飲料與旅遊燃料等節慶相關消費明顯成長，歐元區 4 月零售銷售年增率由上月的 1.9%上升至 2.3%。由於主要工業大國德國與法國的生產數據明顯下滑，導致歐元區 4 月工業生產指數年增率由上月修正後的 3.7%降至 0.8%。

在歐洲經濟展望方面，參考歐盟委員會公佈的綜合經濟觀察指標（Economic Sentiment Indicator, ESI），歐元區 2025 年 5 月的 ESI 為 94.8 點，較上月修正後數值增加 1.0 點，顯示整體經濟情緒略有改善。其中，工業信心指數小幅回升，反映企業在美國對等關稅暫緩期間積極接單，有助於生產趨勢、新訂單與新出口訂單數量等表現。服務業信心指數持續下滑，顯示儘管全球貿易緊張有所緩和，但貿易政策仍存在不確定性，使企業對未來消費需求的預期仍趨於保守。此外，消費者信心小幅改善，消費者對未來一年財務狀況與整體經濟展望的預期均有所改善，顯示隨著國際貿易緊張情勢緩解，民眾信心逐漸回升。

日本方面，日本內閣府公布 2025 年第 1 季 GDP 年增率第 2 次速報值為 1.7%，其中企業設備投資、民間住宅投資、公共投資、民間消費年增率分別為 3.1%、3.1%、2.4%

及 1.8%，商品及勞務進出口年增率分別為 6.6%及 3.8%。日本財務省公布 2025 年 5 月受到美國調高鋼鐵及汽車關稅影響，鋼鐵及汽車出口分別年減 20.6 及 6.9%，出口額達 8 兆 1,350 億日圓，較 2024 年同期減少 1.7%；進口額為 8 兆 7,726 億日圓，年減 7.7%，主要因煤炭、非鐵金屬礦、原油等產品進口年減幅分別達 40.3%、24.2%及 18.9%所致。在 2025 年全年度的日本 GDP 方面，EIU、S&P Global 於 2025 年最新發布預測值分別為 0.6%、0.8%，前者較上次預測值增加 0.2 個百分點，主要係美日進行關稅談判，有助於減輕關稅上調對日本經濟成長影響，後者則維持上次預測值。

在日本就業市場方面，依據日本總務省公布 2025 年 4 月經季節調整後失業率為 2.5%，與 3 月數值持平。在工業生產方面，受到生產用機械、金屬製品、食品工業等生產下滑影響，工業生產指數年增率表現由 2025 年 3 月 1.0%降至 4 月的 0.5%。在日本經濟展望方面，參考 S&P Global 引用 au Jibun Bank 發布的日本 5 月製造業 PMI 為 49.4，較 4 月數值增加 0.7 點，主要係因投入成本及產出成本通膨壓力減緩及廠商的商業信心略有增強；服務業 PMI 為 51.0，較 4 月數值減少 1.4 點，主要係業務活動、新訂單及就業等指標均放緩，致服務業 PMI 成長動能減弱，惟數值仍維持在擴張區間。

在中國方面，中國國家統計局發布 2025 年 5 月全國規模以上（主要業務收入在 2,000 萬元及以上的工業企業）工業增加值年增率為 5.8%，較 4 月數值減少 0.3 個百分點；社

會消費品零售額年增率 6.4%，較 4 月數值增加 1.3 個百分點，其中商品零售、餐飲年增率分別為 6.5%、5.9%；1-5 月全國（不含農戶）固定資產投資年增率為 3.7%，其中民間固定資產投資年增率 0.0%。房地產指標方面，2025 年 1-5 月房地產開發投資增速為 -10.7%，其中商品房銷售額及面積增速分別為 -2.9%及 -3.8%。依據中國海關總署發佈 2025 年 5 月貿易額 5,289.8 億美元，年增 1.3%，其中進出口分別年增 -3.4%及 4.8%。在 2025 年全年度的中國 GDP 方面，EIU、S&P Global 最新發布預測值分別為 4.4%、4.3%，其中 EIU 認為美中關稅休戰，出口貨運量改善，惟目前整體關稅水準仍高，將削弱中國出口競爭力，因此維持前次預測不變；後者因美中關稅緊張局勢趨緩、服務業因五一、端午、六一八等檔期疊加效應，及消費品以舊換新政策推波助力，因而將預測值調升 0.3 個百分點。

中國就業市場方面，2025 年 5 月全國城鎮調查失業率平均值為 5.0%，較 4 月數值減少 0.1 個百分點。在全國居民消費價格（CPI）方面，2025 年 5 月 CPI 年增率 -0.1%，與 4 月數值持平，主要係交通通信價格指數年減幅達 -4.3%，核心 CPI 年增率為 0.6%。在中國經濟展望方面，依據中國國家統計局公布 5 月製造業 PMI 為 49.5%，較 4 月數值增加 0.5 個百分點，除供應商配送時間指標較上月數值下滑外，其餘指標皆較上月改善，但僅生產指標處於擴張區，致整體製造業活動仍落於榮枯線之下。非製造業 PMI5 月整體指數為 50.3%，較 4 月數值增加 0.1 個百分點，除業務活動預期指數較上月數值下跌外，其

餘指標多呈現改善或持平，使得整體活動仍維持在榮枯線之上。

國內情勢方面，首先在對外貿易方面，新興科技應用需求持續熱絡，加上美國關稅緩衝期內客戶加速拉貨，帶動 5 月出口攀升至 517.4 億美元，首度突破 500 億大關，使得 5 月出口年增率由上月的 29.89% 擴增為 38.63%，儘管進口資本設備仍維持強勁，然農工原料與消費品年增率較上月縮減，故進口年增率由上月成長 32.29% 縮減為 25.03%。在主要出口產品方面，受惠於 AI 與高效能運算商機持續推動，加上美國關稅緩衝期內客戶加大進貨，帶動資通訊與視聽產品、電子零組件年增率大幅上揚。相較之下，傳統產業表現承壓，基本金屬、塑橡膠製品及化學品年增率皆下滑，礦產品則受煉油廠歲修與國際油價疲弱影響，年增率明顯下跌；進口方面，受惠於新興科技需求持續強勁，帶動電子零組件、資通訊及視聽產品出口年增率維持高檔；機械則因資本設備採購增加，年增率上升。相較之下，傳產貨品如基本金屬、化學品及礦產品進口年增率皆呈下滑趨勢。累計 2025 年 1～5 月出口較去年同期成長 24.24%，進口成長 21.24%，總計 2025 年 1～5 月出超金額為 436.38 億美元，成長 38.94%。

物價方面，儘管水果價格仍處高檔，惟漲勢有所趨緩，加以蔬菜與雞蛋價格較去年同期明顯下滑，抵銷部分漲幅，食物類價格年增率由 4 月 4.34% 縮減至 5 月 3.09%，對總指數影響 0.84 個百分點，較上月減少 0.33

個百分點。此外，受油料費價格續降，加以通訊費價格下滑，致整體交通及通訊類價格年減幅度擴大。5 月整體 CPI 年增率由 4 月 2.03% 縮減至 1.55%，核心 CPI 年增率則由 4 月 1.67% 縮減至 1.61%；PPI 方面，鑒於 5 月新台幣對美元匯率大幅升值，加以石油及煤製品、化學材料及其製品與藥品、基本金屬及電子零組件等國際市場價格下跌，使得 2025 年 5 月整體 PPI 年增率由 4 月 0.55% 縮減至 -4.30%。累計 2025 年 1～5 月 CPI 年增率 2.04%，PPI 年增率為 1.45%。

勞動市場方面，2025 年 5 月失業率 3.30%，較上月下降 0.02 個百分點，因工作場所業務緊縮或歇業的失業人數較上年同月減少，令 5 月失業率較上年同月下降 0.04 個百分點，今年 1 至 5 月失業率平均為 3.32%，較上年同期下降 0.04 個百分點。在薪資方面，2025 年 4 月本國籍全時受僱員工總薪資為 58,878 元，年增 3.39%，4 月經常性薪資平均數為 50,524 元，年增 3.41%，在扣除物價上漲因素後，2025 年 1 至 4 月每人每月實質經常性薪資平均數為 45,988 元，年增 1.14%，1 至 4 月每人累計實質總薪資平均數為 271,916 元，年增 0.93%。

▼一、景氣對策信號

5 月分數為 31 分，較上月減少 2 分，燈號轉呈綠燈。9 項構成項目中，批發零售及餐飲業營業額由紅燈轉呈綠燈，減少 2 分；其餘 8 項燈號維持不變。個別構成項目說明如下：

- 貨幣總計數 M1B 變動率：由上月 1.88% 增為 1.93%，燈號續呈藍燈。
- 股價指數變動率：由上月 -3.4% 增為 0.8%，燈號續呈黃藍燈。
- 工業生產指數變動率：由上月上修值 23.2% 減至 21.7%，燈號續呈紅燈。
- 工業及服務業加班工時變動率：由上月 4.45% 增為 4.49%，燈號續呈黃紅燈。
- 海關出口值變動率：由上月 28.2% 增為 28.4%，燈號續呈紅燈。
- 機械及電機設備進口值變動率：由上月 66.1% 減至 50.0%，燈號續呈紅燈。
- 製造業銷售量指數變動率：由上月上修值 13.8% 增為 17.4%，燈號續呈紅燈。
- 批發、零售及餐飲業營業額變動率：由上月 10.7% 減至 5.1%，燈號轉呈綠燈。
- 製造業營業氣候測驗點：由上月下修值 90.57 點減至 85.83 點，燈號續呈藍燈。

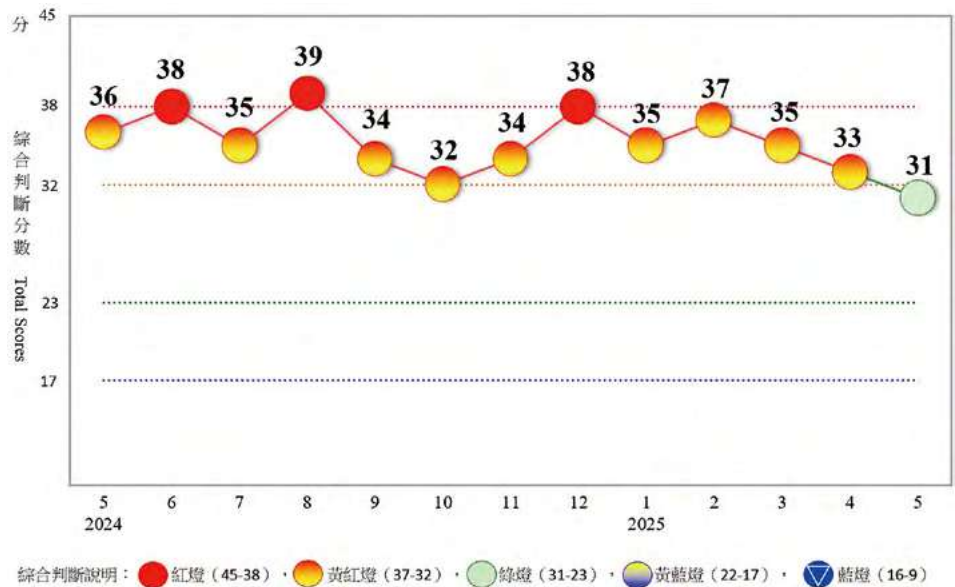


圖 1 近一年景氣對策信號走勢圖（國家發展委員會）

景氣對策信號	燈號	2024年												2025年			
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	4月		5月	
		分數	36	38	35	39	34	32	34	38	35	37	35	燈號	%	燈號	%
綜合判斷	燈號		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	
貨幣總計數M1B	分數		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	1.88		●	1.93
股價指數			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-3.4		●	0.8
工業生產指數			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	23.2 _r		●	21.7
工業及服務業加班工時			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	4.45		●	4.49
海關出口值			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	28.2		●	28.4
機械及電機設備進口值			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	66.1		●	50.0
製造業銷售量指數			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	13.8 _r		●	17.4
批發、零售及餐飲業營業額			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	10.7		●	5.1
製造業營業氣候測驗點			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	90.57 _r		●	85.83

註：1.各構成項目除製造業營業氣候測驗點之單位為點(基期為95年)外，其餘均為年變動率；除股價指數外均經季節調整。
2. r為修正值。

圖 2 一年來景氣對策信號（國家發展委員會）

▼二、景氣指標

(一) 領先指標

領先指標不含趨勢指數為 99.74，較上月下滑 0.80%（詳表 1、圖 3）。

表 1 景氣領先指標（國家發展委員會）

項 目	113 年 (2024)		114 年 (2025)				
	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
不含趨勢指數	102.28	102.41	102.43	102.06	101.36	100.54	99.74
較上月變動 (%)	0.09	0.12	0.02	-0.36	-0.69	-0.803	-0.799
構成項目 ¹							
外銷訂單動向指數 ²	100.83	100.74	100.51	99.81	98.91	98.02	97.22
實質貨幣總計數 M1B	99.85	99.79	99.72	99.66	99.61	99.59	99.57
股價指數	100.72	100.59	100.41	100.16	99.85	99.52	99.20
工業及服務業受僱員工淨進入率 ³	100.099	100.102	100.103	100.102	100.100	100.07	100.02
建築物開工樓地板面積 ⁴	99.72	99.93	100.20	100.43	100.45	100.40	100.31
實質半導體設備進口值	100.04	100.33	100.69	101.13	101.63	102.16	102.68
製造業營業氣候測驗點	100.42	100.38	100.27	100.03	99.65	99.16	98.62

註：1. 本表構成項目指數為經季節調整、剔除長期趨勢，並平滑化與標準化後之數值。以下表同。

2. 外銷訂單動向指數採用以家數計算之動向指數。

3. 淨進入率 = 進入率 - 退出率。

4. 建築物開工樓地板面積僅包含住宿類（住宅）、商業類、辦公服務類、工業倉儲類 4 項統計資料。

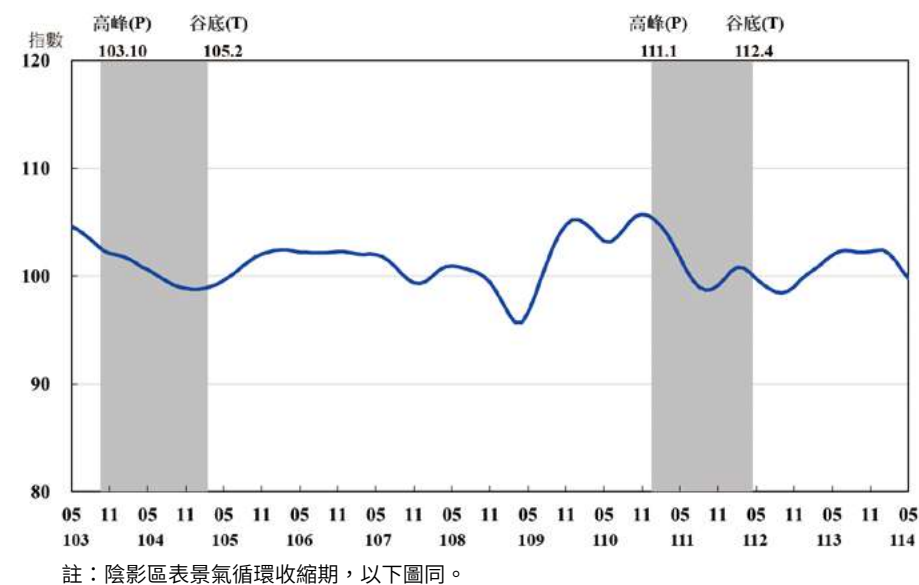


圖 3. 領先指標不含趨勢指數走勢圖（國家發展委員會）

7 個構成項目經去除長期趨勢後，6 項較上月下滑，分別為：外銷訂單動向指數、製造業營業氣候測驗點、股價指數、建築物開工樓地板面積、工業及服務業受僱員工淨進入率、實質貨幣總計數 M1B；僅實質半導體設備進口值較上月上升。

(二) 同時指標

同時指標不含趨勢指數為 109.55，較上月上升 1.88%（詳表 2、圖 4）。

表 2 景氣同時指標（國家發展委員會）

項 目	113 年 (2024)		114 年 (2025)				
	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
不含趨勢指數	100.90	101.52	102.47	103.84	105.57	107.53	109.55
較上月變動 (%)	0.36	0.62	0.93	1.34	1.66	1.86	1.88
構成項目							
工業生產指數	100.44	100.73	101.11	101.65	102.36	103.22	104.14
電力（企業）總用電量	99.97	99.73	99.59	99.63	99.84	100.15	100.53
製造業銷售量指數	100.04	100.31	100.72	101.33	102.06	102.93	103.85
批發、零售及餐飲業營業額	99.55	99.76	100.11	100.55	101.02	101.46	101.82
工業及服務業加班工時	100.77	100.56	100.30	100.03	99.80	99.63	99.49
實質海關出口值	100.02	100.47	101.01	101.61	102.29	102.98	103.68
實質機械及電機設備進口值	100.13	100.56	101.10	101.79	102.54	103.31	104.05

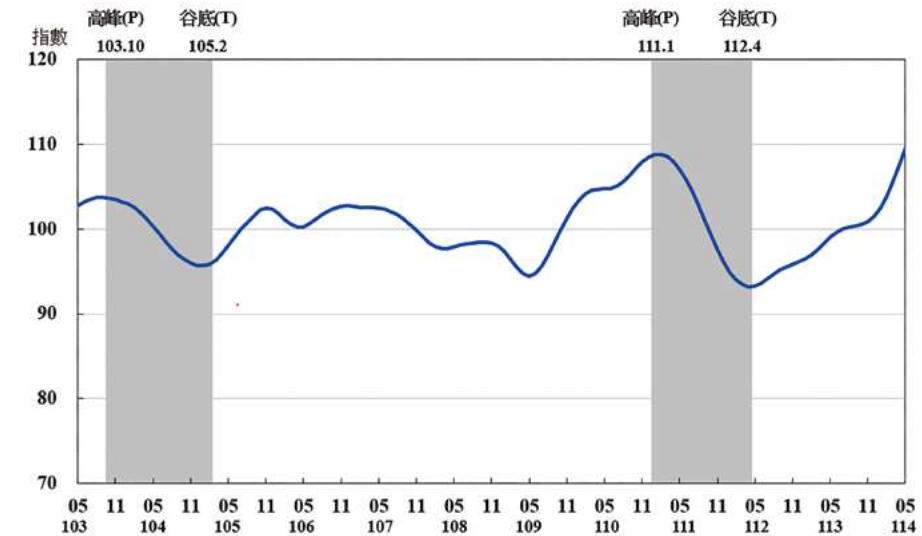


圖 4. 同時指標不含趨勢指數走勢圖（國家發展委員會）

7 個構成項目經去除長期趨勢後，6 項較上月上升，分別為：製造業銷售量指數、工業生產指數、實質機械及電機設備進口值、實質海關出口值、電力（企業）總用電量、批發、零售及餐飲業營業額；僅工業及服務業加班工時較上月下滑。

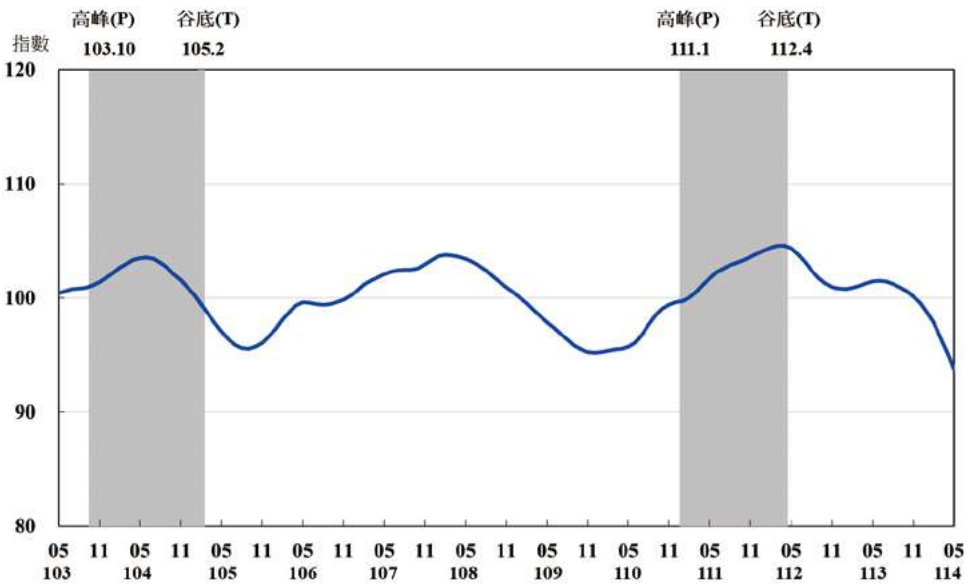
(三) 落後指標

落後指標不含趨勢指數為 93.72，較上月下滑 1.54%（詳表 3、圖 5）。

表 3 景氣落後指標（國家發展委員會）

項 目	113 年 (2024)		114 年 (2025)				
	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
不含趨勢指數	100.12	99.55	98.79	97.80	96.59	95.19	93.72
較上月變動 (%)	-0.44	-0.57	-0.76	-1.00	-1.24	-1.45	-1.54
構成項目							
失業率 ¹	99.84	99.80	99.77	99.74	99.72	99.69	99.67
製造業單位產出勞動成本指數	99.62	99.20	98.72	98.14	97.41	96.57	95.67
五大銀行新承做放款平均利率	99.81	99.65	99.52	99.42	99.378	99.379	99.39
全體金融機構放款與投資	100.76	100.72	100.61	100.41	100.12	99.77	99.39
製造業存貨價值	99.82	99.91	99.92	99.86	99.75	99.60	99.44

註：1. 失業率取倒數計算。



註：陰影區表景氣循環收縮期，以下圖同。

圖 5. 落後指標不含趨勢指數走勢圖（國家發展委員會）

5 個構成項目經去除長期趨勢後，4 項較上月下滑，分別為：製造業單位產出勞動成本指數、全體金融機構放款與投資、製造業存貨價值、失業率（取倒數）；僅五大銀行新承做放款平均利率較上月上升。

▼ 三、製造業採購經理人指數（PMI）

2025 年 6 月經季節調整後之台灣製造業採購經理人指數（PMI）僅維持 1 個月擴張隨即轉為緊縮，6 月指數回跌 1.4 個百分點至 49.6%。

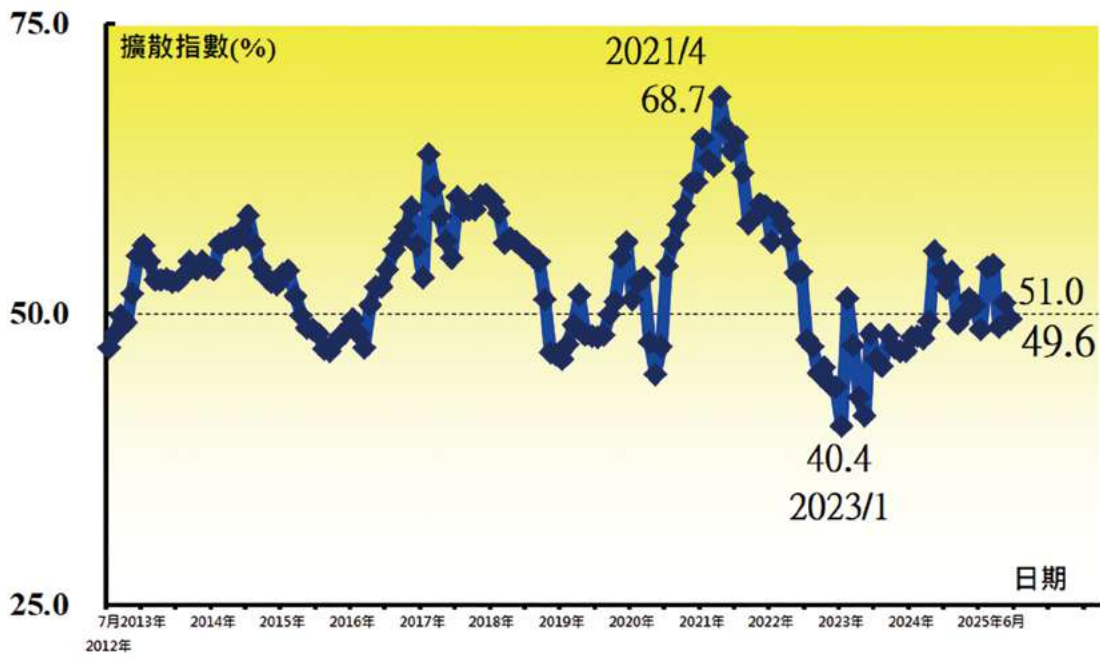


圖 6 臺灣製造業 PMI 時間序列走勢圖（中華經濟研究院）

- 五項組成指標中，經季調之新增訂單與人力僱用持續緊縮，生產轉為緊縮，供應商交貨時間上升（高於 50.0%），存貨持續擴張。
- 季調後之新增訂單已連續 3 個月緊縮，指數回跌 2.0 個百分點至 47.1%，為 2024 年 4 月以來最快緊縮速度。
- 生產指數僅維持 1 個月擴張隨即轉為緊縮，本月指數回跌 3.8 個百分點至 47.0%。
- 未來六個月展望指數回跌 1.1 個百分點至 39.8%，連續第 3 個月緊縮。
- 2025 年 6 月六大產業中，四大產業 PMI 呈現緊縮，各產業依緊縮速度排序為基礎原物料產業（41.2%）、交通工具產業（43.8%）、食品暨紡織產業（46.5%）與化學暨生技醫療產業（49.7%）。電子暨光學產業（55.5%）與電力暨機械設備產業（53.2%）PMI 仍呈現擴張。
- 六大產業全數回報未來六個月展望呈現緊縮，各產業依緊縮速度排序為交通工具產業（26.2%）、基礎原物料產業（29.1%）、電力暨機械設備產業（40.2%）、食品暨紡織產業（41.3%）、電子暨光學產業（43.8%）與化學暨生技醫療產業（44.9%）。

表 4、2025 年 06 月臺灣製造業採購經理人指數（中華經濟研究院）

單位：%							產業別						
	2025 6月	2025 5月	百分點 變化	方向 (Direction)	速度 (Rate of Change)	趨勢 (Trend) 連續 月份	化學 暨 生技 醫療	電子 暨 光學	食品 暨 紡織	基礎 原物 料	交通 工具	電力 暨 機械 設備	
台灣製造業PMI	49.6	51.0	-1.4	緊縮	前月為擴張	1	49.7	55.5	46.5	41.2	43.8	53.2	
新增訂單數量	47.1	49.1	-2.0	緊縮	加快	3	50.0	55.8	43.5	29.1	31.0	50.0	
生產數量	47.0	50.8	-3.8	緊縮	前月為擴張	1	47.4	57.7	47.8	37.2	45.2	57.3	
人力僱用數量	48.2	49.3	-1.1	緊縮	加快	3	48.7	53.4	45.7	43.0	38.1	50.0	
供應商交貨時間	55.1	52.4	+2.7	上升	加快	7	56.4	57.7	50.0	47.7	59.5	57.3	
存貨	50.4	53.6	-3.2	擴張	趨緩	5	46.2	52.9	45.7	48.8	45.2	51.2	
客戶存貨	47.8	45.9	+1.9	過低	趨緩	32	47.4	47.6	45.7	50.0	47.6	46.3	
原物料價格	55.1	56.1	-1.0	上升	趨緩	9	52.6	64.4	47.8	36.0	54.8	52.4	
未完成訂單	45.2	48.5	-3.3	緊縮	加快	3	42.3	49.0	37.0	39.5	33.3	52.4	
新增出口訂單	46.2	50.0	-3.8	緊縮	前月為持平	1	48.7	53.4	37.0	32.6	33.3	46.3	
進口原物料數量	47.8	48.6	-0.8	緊縮	加快	3	52.6	50.5	54.3	36.0	40.5	50.0	
未來六個月展望	39.8	40.9	-1.1	緊縮	加快	3	44.9	43.8	41.3	29.1	26.2	40.2	
生產用物資(平均天數)	37	36					31	41	49	37	24	31	
維修與作業耗材(平均天數)	33	34					28	35	33	37	29	29	
資本支出(平均天數)	62	60					54	73	76	41	80	47	

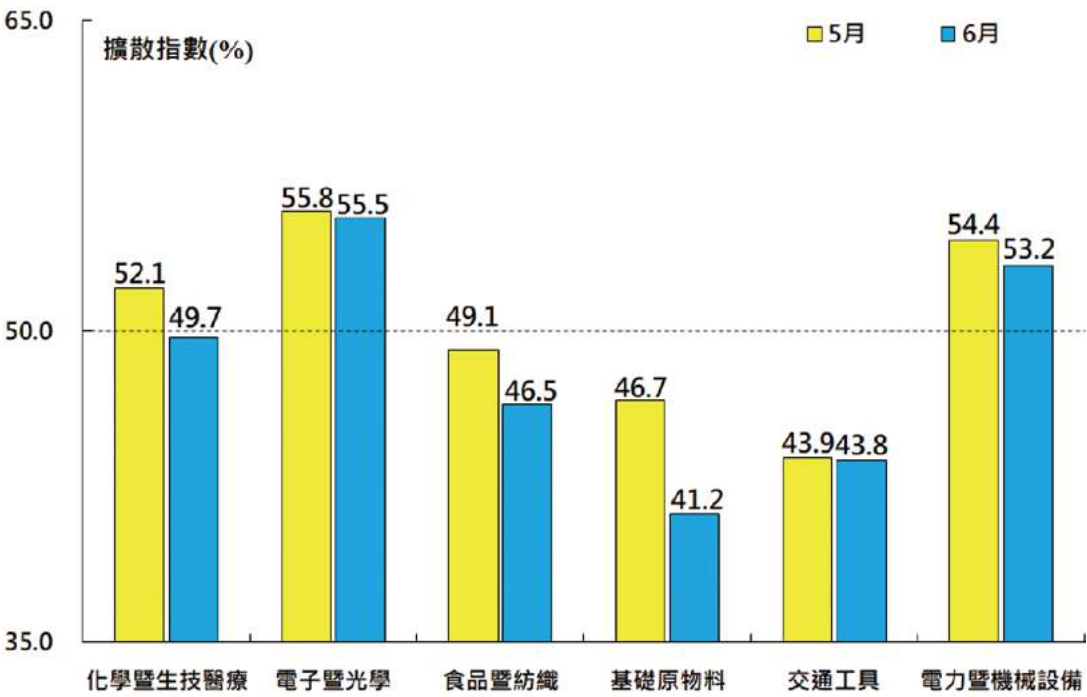


圖 7. 產業別 PMI 示意圖（中華經濟研究院）

▼ 四、非製造業經理人指數（NMI）

2025 年 6 月末經季節調整之台灣非製造業 NMI 已連續 4 個月擴張，本月指數續升 2.4 個百分點至 54.3%。

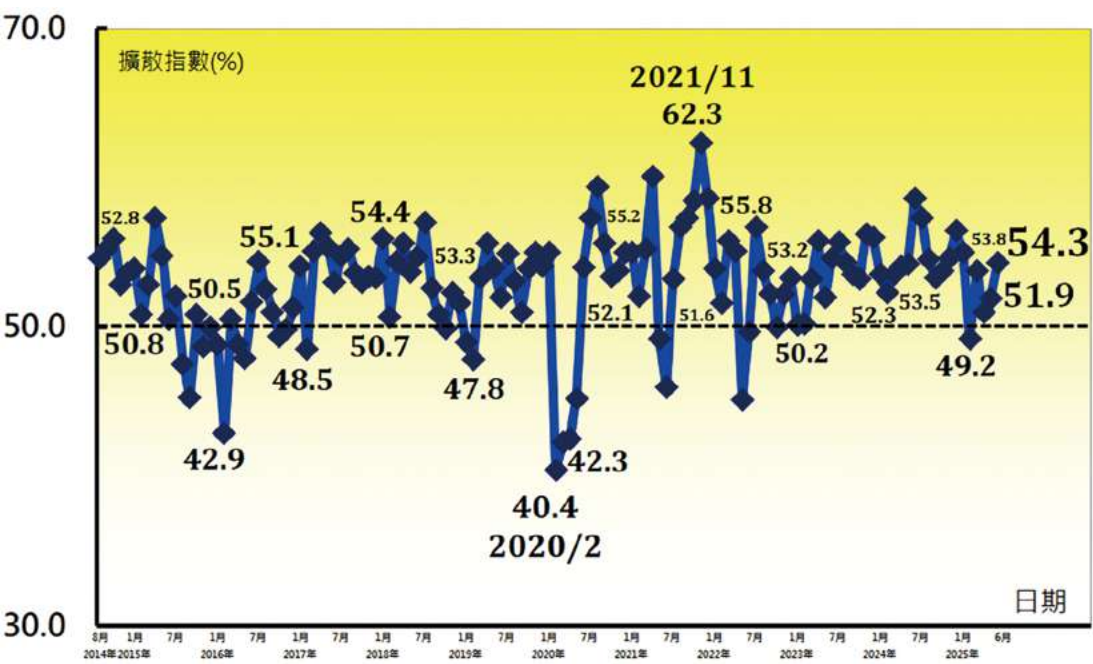


圖 8. 臺灣非製造業 NMI 時間序列走勢圖（中華經濟研究院）

八大產業中，六大產業回報未來六個月展望呈現緊縮，各產業依緊縮速度排序為零售業（34.1%）、營造暨不動產業（34.5%）、批發業（37.8%）、金融保險業（42.7%）、資訊暨通訊傳播業（43.8%）與運輸倉儲業（44.4%）。住宿餐飲業與教育暨專業科學業則回報未來六個月展望為持平（50.0%）。

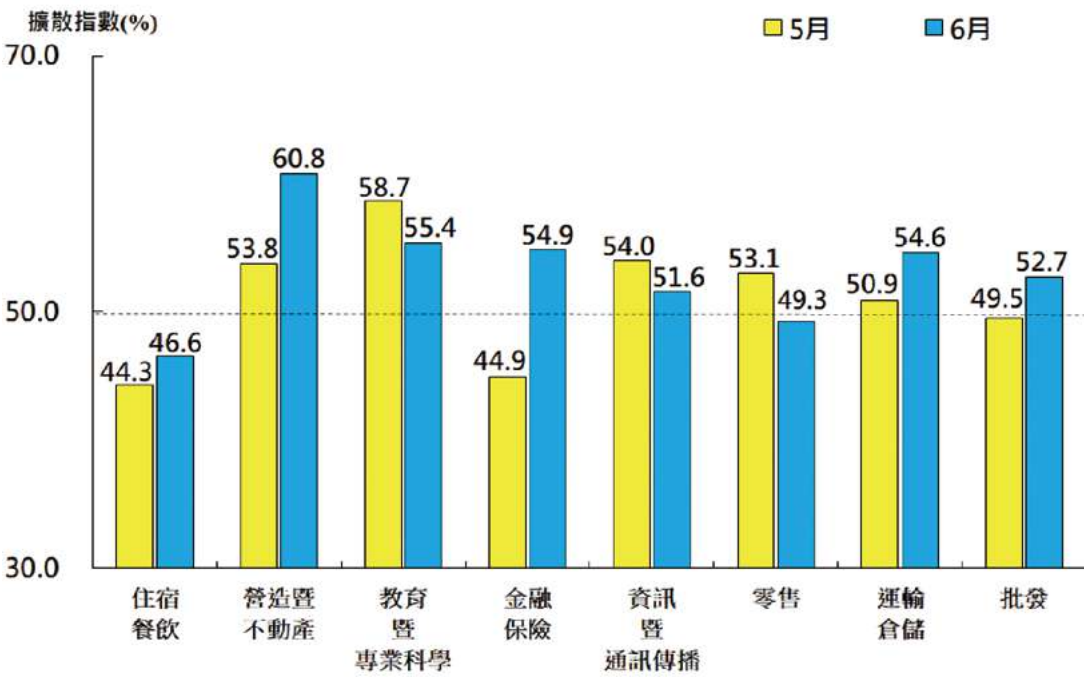


圖 9. 產業別 NMI 示意圖（中華經濟研究院）

- 四項組成指標中，商業活動、新增訂單、人力僱用持續擴張，供應商交貨時間上升（高於 50.0%）。
- 未經季調之商業活動與新增訂單已連續 2 個月擴張，指數分別攀升 6.5 與 0.8 個百分點至 57.1% 與 51.8%。
- 非製造業持續面臨營業成本攀升壓力，採購價格指數（營業成本）已連續 114 個月呈現上升（高於 50.0%），指數微升 0.4 個百分點至 60.8%，這已是連續第 4 個月維持在 60.0% 以上的上升速度。
- 未完成訂單（工作委託量）已連續 3 個月緊縮，惟指數續升 1.1 個百分點至 46.3%。
- 服務收費價格已連續 61 個月呈現上升（高於 50.0%），指數回跌 1.7 個百分點至 53.1%。
- 非製造業之未來六個月展望已連續 4 個月緊縮，指數微升 0.3 個百分點至 40.3%。
- 2025 年 6 月八大產業中，六大產業 NMI 皆呈現擴張，各產業依擴張速度排序為營造暨不動產業（60.8%）、教育暨專業科學業（55.4%）、金融保險業（54.9%）、運輸倉儲業（54.6%）、批發業（52.7%）與資訊暨通訊傳播業（51.6%）。住宿餐飲業（46.6%）與零售業（49.3%）則呈現緊縮。

表 5. 2025 年 06 月臺灣非製造業採購經理人指數（中華經濟研究院）

	2025		百分點 變化	方向 (Direction)	速度 (Rate of Change)	趨勢 (Trend) 連續 月份	產業別							
	6月	5月					住宿 餐飲	營造 暨 不動產	教育 暨 專業 科學	金融 保險	資訊 暨 通訊 傳播	零售	運輸 倉儲	批發
台灣NMI	54.3	51.9	+2.4	擴張	加快	4	46.6	60.8	55.4	54.9	51.6	49.3	54.6	52.7
商業活動	57.1	50.6	+6.5	擴張	加快	2	50.0	65.5	57.7	63.4	56.3	47.7	51.9	56.1
新增訂單	51.8	51.0	+0.8	擴張	加快	2	45.5	51.7	55.1	53.7	50.0	35.7	55.6	55.6
人力僱用	54.3	51.2	+3.1	擴張	加快	28	45.5	60.3	55.1	52.4	50.0	59.1	61.1	50.0
供應商交貨時間	54.3	54.6	-0.3	上升	趨緩	25	45.5	65.5	53.8	50.0	50.0	54.5	50.0	49.0
存貨	54.4	52.0	+2.4	擴張	加快	3	50.0	60.3	48.7	53.7	56.3	59.1	51.9	52.0
採購價格	60.8	60.4	+0.4	上升	加快	114	63.6	58.6	62.8	50.0	56.3	63.6	68.5	61.2
未完成訂單	46.3	45.2	+1.1	緊縮	趨緩	3	45.5	43.1	50.0	42.7	52.1	45.5	50.0	49.0
服務輸出/出口	55.5	58.5	-3.0	擴張	趨緩	4	16.7	75.0	53.3	50.0	41.7	75.0	42.9	46.1
服務輸入/進口	51.6	53.8	-2.2	擴張	趨緩	4	50.0	50.0	53.1	43.8	46.7	40.0	60.0	52.8
服務收費價格	53.1	54.8	-1.7	上升	趨緩	61	54.5	51.8	57.1	52.4	52.1	52.3	51.9	51.0
存貨觀感	52.5	50.9	+1.6	過高	加快	9	50.0	51.7	44.9	48.8	47.9	65.9	48.1	59.2
未來六個月展望	40.3	40.0	+0.3	緊縮	趨緩	4	50.0	34.5	50.0	42.7	43.8	34.1	44.4	37.8

▼ 五、未來半年個別產業景氣預測（以 2025 年 5 月為預測基準月）



成立宗旨

整合產業界、學界與政府力量，促進機器人產業跨域合作
因應工業 4.0 與智動化時代潮流並國際接軌，進而創造商機，
攜手力拼台灣機器人產業升級與繁榮

期盼聯盟透過下列七大項目

培育優秀人才、帶動機器人產業、促進台灣製造業轉型升級
為邁向智慧製造提供更大的貢獻，超過百間聯盟成員歡迎您的加入！



更多關於台灣機器人產學聯盟
歡迎加入





台灣機器狗的發展 與未來展望： 結構、運動控制與 應用挑戰

文 | 工研院機械與機電系統研究所 黃甦技術總監

▼前言

當今世上，引人注目的科技話題中，機器人無疑是最受關注的焦點之一。近幾年來，隨著人工智慧的迅速發展，機器人技術迎來了蓬勃的發展機遇，成為科技時代的重要節點。這一切都顯示出，機器人正處於一個集大成的時代。正所謂「時勢造英雄」，機器人充分展現了科技進步所帶來的無限可能。

然而，與所有科技產品一樣，機器人的外觀與功能會隨著人類社會的需求而有所不同。除了在製造領域中常見的工業型機器人，還有活躍於人類生活和公共場所的服務型機器人。此外，居家掃地機器人、拖地機器人，甚至是人型機器人和四足機器人的積極研發，均是這一趨勢的具體展現。

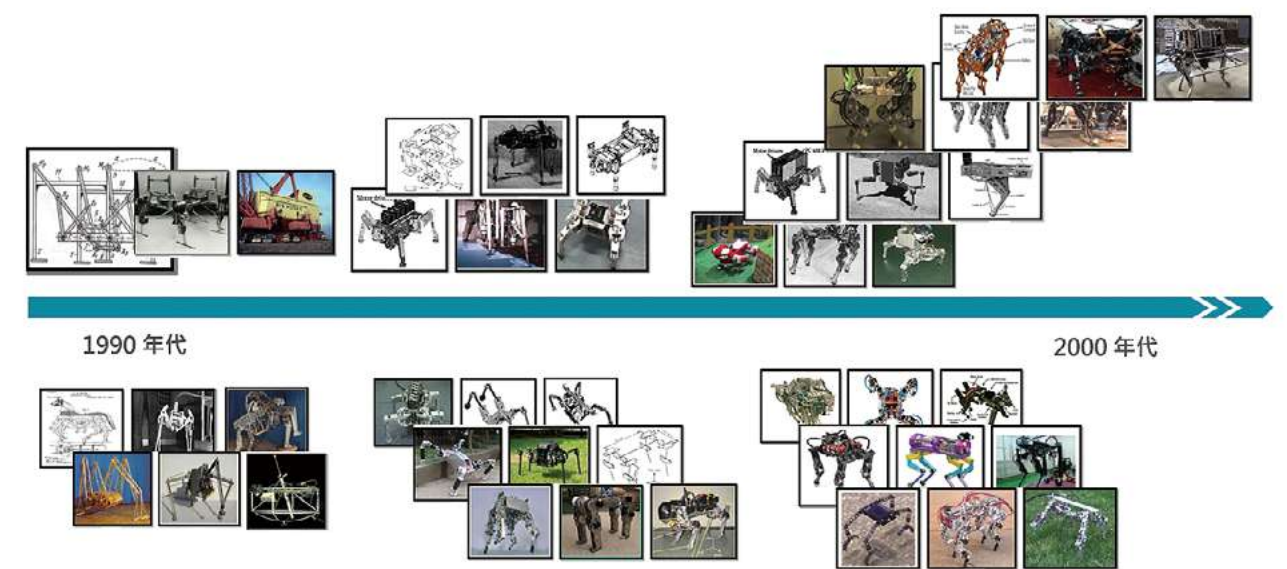
英文 Robot，其定義為「由控制的機器，用於自動執行工作」。由此可知，涵蓋範圍並不僅限於人形。舉凡自然界的生物，例如陸地生物的馬、豹；水中生物如：魚、水母或章魚、甚至是蛇等等比人類雙腿更具彈性的生物移動樣態，都是 Robot 研究上具有廣義且更有效率的仿生機器人議題（bio-inspired robotics）目標。

本文主要闡述「四足機器人」，是當前機器人技術發展中的重要分支。四足機器人係受到大自然生物的啟發，專注於模仿四足動物的行走與運動模式，並強調在地面上的穩定行

走與負載能力。相較於輪式或雙足機器人，四足機器人具有更優越的地形適應能力，能夠在崎嶇不平的地面、樓梯、碎石路甚至泥濘地形上行走自如。因此，它在軍事、救援、物流、勘探等多個領域具有廣泛的應用潛力。而隨著機器人技術的進步和對靈活自動化解決方案的需求不斷增長，四足機器人的市場正在大幅擴展。根據 Market Research Intellect 於今年 3 月報告中指出：四足機器人市場規模價值預計到 2031 年將達到 73 億美元，2024 年至 2031 年期間的複合年增長率為 20.4%。許多因素正在推動四足機器人市場的成長，其中包括在苛刻條件下提供穩定性和適應性的複雜機器人解決方案的需求。

▼四足機器人發展歷程

四足機器人的發展歷史最早可追溯到 1960 年代，當時的研究主要集中在機械和液壓控制技術，這一時期的機器人依賴有限狀態機（Finite-state machine, FSM）進行控



早期四足機器人驅動方式以液壓、氣動、燃油引擎為主，後期逐漸混合電力驅動。



不需要內部的運動學或動力學模型。像是開啟新世界的大門一樣，此後隨著電腦科技的進步，四足機器人的控制技術顯著提升，使得機器人的運動更加靈活和精確。接著，四足機器人開始在工業自動化和倉儲物流等特定領域中應用，智慧程度有所提高，能夠執行一些簡單任務。千禧年後，四足機器人逐漸成為機器人學研究的熱點，促進在感知、規劃和控制等方面的深入研究，為其發展奠定了基礎。自 2010 年代中期以來，隨著技術的成熟，許多企業開始開發商用四足機器人，這些機器人被廣泛應用於工業自動化、物流和服務業等領域，例如 Boston Dynamics 推出的 Spot 機器人，如今已採用雷射雷達感測器和立體視覺感測器，感知周邊路面資訊，有效避開路面障礙，合理協調四肢動作以其靈活性和穩定性而聞名，能夠在崎嶇地形上自由行動。

▼ 四足機器人的軟硬體需求

相較工業機器人和服務機器人，四足機器人在結構設計、硬體組成、控制演算法、核心性能要求以及零件選擇方面，都有很大的差異。目前臺灣已具備相對完整的機器人產業鏈，然在四足機器人領域中，控制機器人運動的「小腦」關鍵技術尚待攻克；同時要強化機器人的環境感知、行為控制、人機互動能力；以及支撐四足機器人應用場景落地的「大腦」關鍵技術。

四足機器人是一種複雜的仿生機器人，融合了硬體與軟體需求，包括驅動系統、感測器、控制單元、電源系統、作業系統、控制演算法、導航定位、人機互動與應用軟體等。其核心技術涵蓋機械設計、運動控制、感測技術及人工智慧。機械結構仿生於動物（如狗或馬），以提高穩定性與靈活性，透過精密關節

設計與高效能驅動系統，實現多種行走模式，如慢走、疾跑與跳躍，並能適應不同地形。以下簡單陳述四足機器人在軟硬體方面的主要需求，及其結構與運動模式：

一、硬體需求：

1. 驅動系統：四足機器人常見有三種：

- (1) 電機驅動 (Electric Actuation)：因控制簡單且噪音較小而被廣泛使用，但承載能力相對較低，難以應對高負載應用。市面上主要的馬達廠商都有可以使用在足式機器人的關節馬達，其中需要注意的是選配適度規格。建議可以從整體機器人的重量，推算到四隻腳分別需要承受多少力，換算到關節的馬達扭矩。在同時考慮馬達重量與安裝方式，應該就可以順利的設計出一隻自己的機器狗。不過通常一隻狗需要 12 顆馬達，如果一顆馬達 2kg 的話，瞬間就增加 24kg 的重量。
- (2) 液壓驅動 (Hydraulic Actuation)：提供更高的功率與反應速度，適用於崎嶇地形與高強度任務等高負載應用，可能在需要強大出力的場合。
- (3) 氣動驅動 (Pneumatic Actuation)：係透過壓縮空氣產生動力，精度較低，難以控制精細運動，且需要外部壓縮氣源，因此適用於輕量級機器人與低負載應用。

2. 感測器：為了實現環境感知，四足機器人需配備多種感測器，包括：

- (1) 視覺感測器 (Cameras)：RGB 攝影機、

深度攝影機或 LiDAR，用於物體辨識、環境感知與導航。這些視覺感測器，類似自駕車 (Self-driving Vehicle) 四足機器人在戶外活動所需要的環境資訊跟在路上開車大同小異，只不過規格面距離可以短一些，反應速度可以慢一些。

- (2) 距離感測器 (Distance Sensors)：如雷射雷達、超音波感測器、或紅外線測距器等，可用於測量與障礙物的距離，輔助避障。
- (3) 慣性感測器 (Inertial Measurement Unit, IMU)：結合加速度計與陀螺儀，用於姿態穩定控制、運動監測與平衡調整等穩定性偵測。這部分有別於工業型或服務型機器人，由於四足機器人需要達到自主平衡控制，也需要在複雜崎嶇的地形下自己調整移動。這些全都需要仰賴這個慣性感測器。有點類似人類耳內的半規管，負責告訴大腦平衡的相關訊號，讓我們閉著眼睛還是可以維持平衡。
- (4) 壓力與力感測器 (Force Sensors)：安裝於機腳，測量與地面的接觸力道，以調整步態與保持穩定性。這就比較直覺，讓四足機器人知道腳底有沒有碰到地面。一方面可以當作偵測有沒有踩空？或者騰空跳躍的時候，讓機器人知道什麼時候著地了。

3. 控制單元 (Control Unit)：四足機器人需要高效能的控制單元，通常採用微控制器或嵌入式運算平台（如：NVIDIA Jetson 或 Raspberry Pi），以處理感測器數據並執行控制演算法。由於目前晶片技術大幅

進展，加上未來各種複雜的步態控制與複雜環境行走等，都需要用學習式演算法，搭配高擬真模擬環境進行學習。因此，未來的控制單元將會是朝向即時運算的配置。

4. 電源系統 (Power System)：電池是四足機器人的主要電源 (目前主要採用鋰電池)，電池須具備足夠的容量以支援長時間運作。隨著技術進步，未來可能會採用無線充電、燃料電池與太陽能供電，以提高續航力等新型供電方式。近年來熱門的氫能，也有可能成為驅動機器狗的能源新選項。

二、軟體需求：

1. 作業系統 (Operating System)：四足機器人通常運行於即時作業系統 (RTOS)

或 Linux 等作業系統，以支援多工作業與即時回應與控制。現行比較通用的配置，是類似人類的大腦和小腦分工。前者負責根據環境的判斷來決定要如何因應的策略 (policy)，後者需要快速的控制迴路，來確保各關節與感測器是可以維持四足機器人的隨時平衡。

2. 運動控制演算法 (Motion Control Algorithms)：需具備高效的步態規劃與精確的關節控制，以確保四足機器人在行走或奔跑時保持平衡，並實現平穩行走、轉向與避障。此外，運動控制還需產生節律性運動模式，以模仿生物的自然步態。這些演算法通常基於 PID (Proportional-Integral-Derivative) 控制、模糊控制或機器學習技術，並持續優化以提升在複雜場景中的

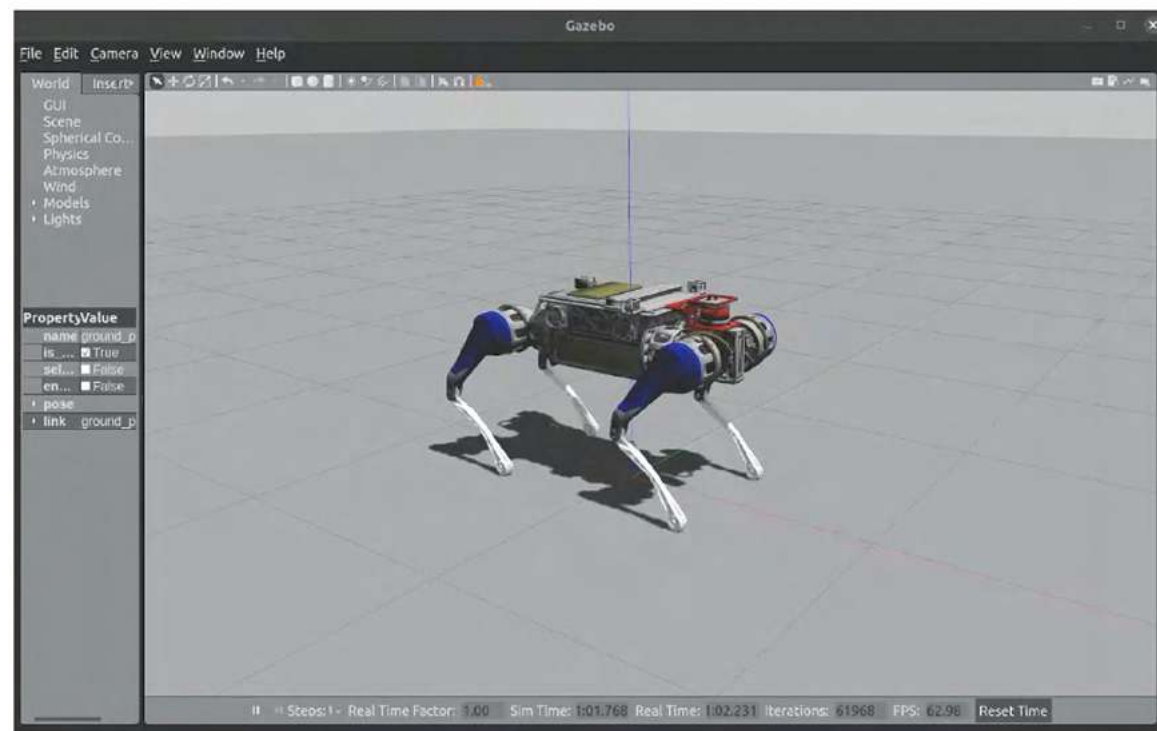
穩健性與適應性。在不同地形上，機器人必須動態調整步態與關節角度，以確保運動的穩定性與效率，而在運動過程中，腳部的精確著地對於確定腿部位置與整體運動表現至關重要。

3. 高擬真模擬器 (High-fidelity Simulation)：相較於傳統模型基礎控制架構 (Model-based Control)，近五年來因為 AI 的演進，未來機器人的運動與任務學習會越來越仰賴在虛擬世界的訓練與學習。傳統的機器人控制頂多六軸到八軸，所對應的模型數學式已經相當複雜。以往都是利用這些模型公式來計算出機器人的下一個動作，才能完成被賦予的任務。

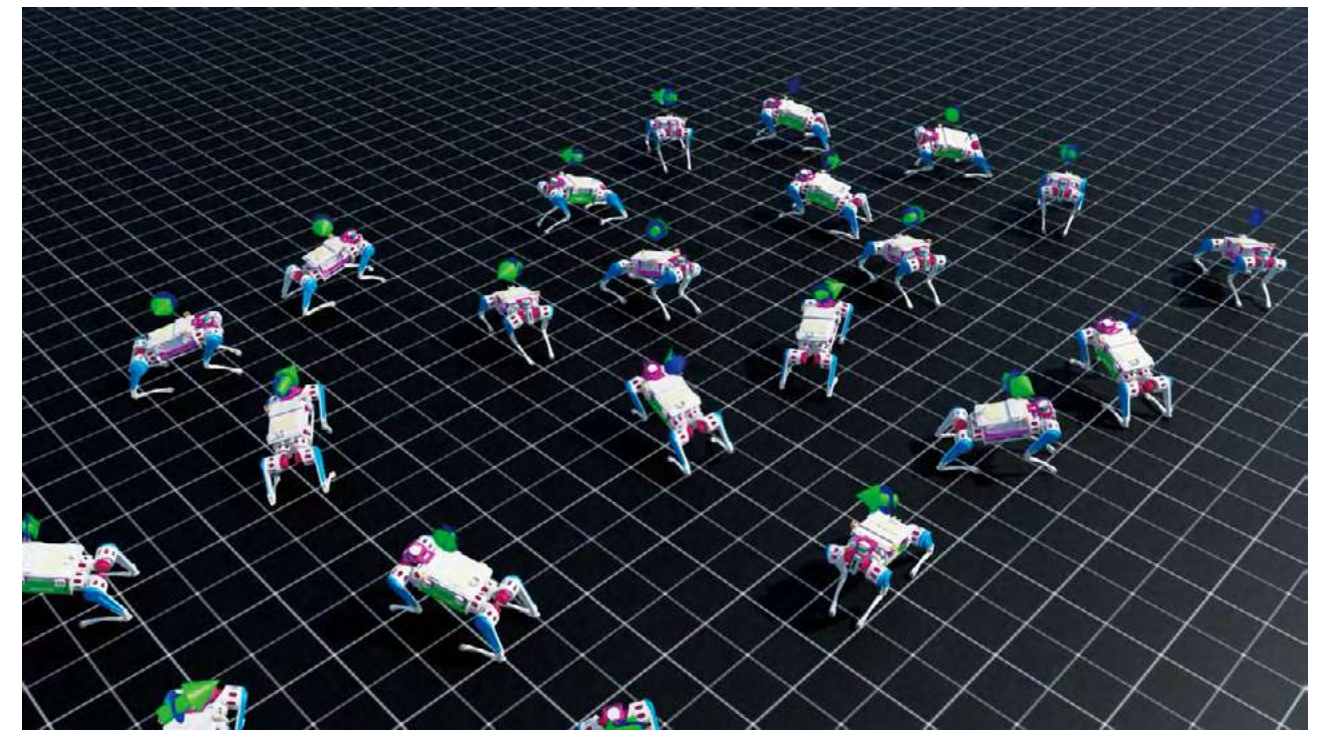
四足機器人的關節與運動組合有 12 軸之

多，人形機器人甚至高達 50 多軸。這麼多的運動組合勢必需要更有效率的控制方法。因此，近年來的機器人都是利用自主學習的方式來進行訓練。較為常用的是建立模擬環境包含多種地形與地質，以供足型機器人進行快速場域驗證。

舉例來說，工研院團隊就利用串連 nVidia Taipei one 超級電腦及 nVidia Omniverse 平台進行 AI 學習與模擬。(2,682,092 mesh)。更開發出強化式 AI 學習演算法 (Reinforcement-Learning, RL)，並利用 nVidia 算力及 nVidia Omniverse 平台，同時模擬多台機器狗，進行 (初步) 機器人運動行為學習，模擬學習包含：在崎嶇路地上，並受到外力干擾下，訓練站立／前後左右／旋轉／跳躍等運動行為與技能。先



高度複雜的運動模式需要在模擬環境中測試。



利用高擬真模擬器，同時讓成千上萬的四足機器人學習走路。

以單純 IMU、Motor state (joint states) 做為輸入，而輸出則為可控制 12 個馬達角度位置。以這樣的學習方式，類似小嬰兒學走路，讓其去嘗試，很快就會慢慢摸索出步態時序，進而學會走路。起初 Learning Iterations：50，四足機器人像是初期學習時還會摔倒／不會動；當 Learning Iterations：2,500 時，可以從模擬器看出機器人初步會走；把 Learning Iterations：8,000 時，明顯看出走得較好。最後訓練完成，進行：前、後、左、右等功能驗證，一隻自我學習步態的四足機器狗就這樣誕生了。

4. 導航與定位 (Navigation & Localization)：

四足機器人須整合導航系統，透過 SLAM (Simultaneous localization and mapping, 同步定位與地圖建置) 技術，讓機器人能夠在未知環境中建構地圖並實現自主導航；抑或是採用 GPS 結合 IMU (Inertial measurement unit, 慣性測量單元) 以適用於戶外環境，提高定位精準度。

5. 人機互動 (Human-Robot Interaction, HRI)：

為能夠與使用者進行自然交流，四足機器人應具備良好的互動能力，包括語音辨識、手勢辨識等功能。這些功能都會讓此四足機器人用更多方式跟使用者互動，藉由這些互動，我們也會感覺他們不再是冷冰冰的機器。以機器狗為例：

(1) 語音識別 (Speech Recognition)：透過 NLP (Natural Language Processing, 自然語言處理) 技術，使機器人可理解

語音指令 (如：Amazon Alexa、Google Assistant)。相信大家對 chatGPT 溫暖的互動對話印象深刻，之後也可以用自然的語言跟四足機器人說話！讓機器狗其實也可以聽得懂人話。

(2) 手勢識別 (Gesture Recognition)：利用攝影機與 AI 辨識人類手勢，提高互動體驗。跟真實的狗很類似，主人的姿態與手勢動作可以跟機器狗互動。主人一舉起手，機器狗就會跑過來主人這邊，往下揮動，機器狗就會坐下。

(3) 觸控介面 (Touch Interface)：在機器人上配備觸控螢幕，提供直覺化操作方式。除了觸控螢幕 (通常是顯示表情) 外，機器狗的身體或頭部也都可以配置類似皮膚的感測器。可以是電容式或電阻式，讓你跟撫摸真實寵物狗一樣，讓機器狗跟你撒嬌。

6. 應用軟體 (Application Software)：

依據應用場景，可開發特定軟體模組，例如：

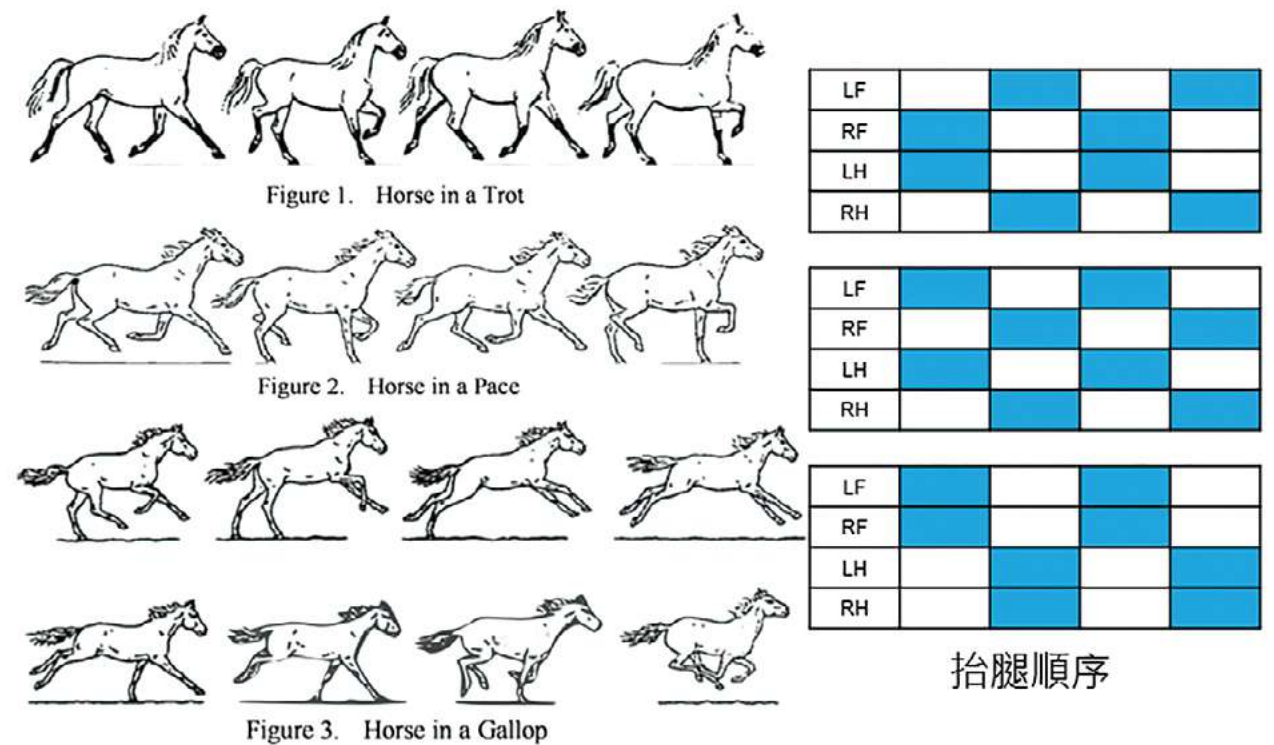
(1) 工業巡檢 (Industrial Inspection)：透過 AI 影像辨識進行設備巡檢與異常偵測。類似於智慧監控攝影機軟體，可以在移動的巡檢機器人上面，偵測可能的異常狀況。

(2) 安全監控 (Security & Surveillance)：透過自動巡邏與即時影像回傳，提升安全性。

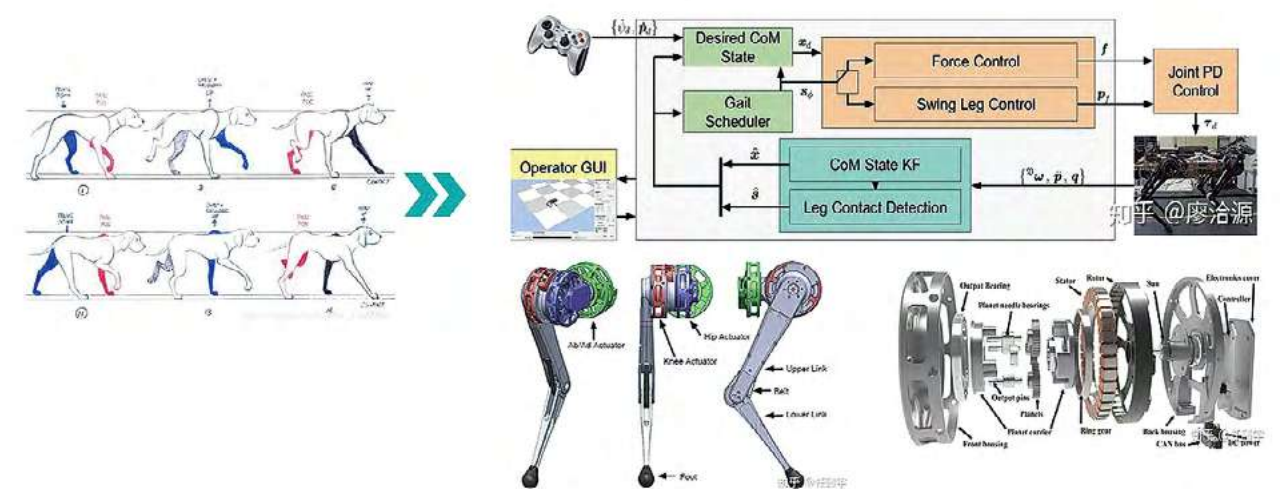
(3) 救災應用 (Disaster Response)：用以於危險區域執行偵察與救援任務 (如：災區勘測、地震搜救)。

三、結構與運動模式：

四足機器人的機械結構係仿生於動物，透過精密的關節設計與高效能驅動系統，實現慢步、快跑、跳躍等多種運動模式，結構相對單純，著重於地面移動，並強調穩定性與負載能力，並採多自由度設計 (Multi-DOF, degree of freedom) 設計，以實現複雜的運動能力。依賴特定的步態模式，如行走、奔跑、跳躍等，並專注於地面運動，強調複雜地形的適應能力與穩定性。



馬在不同速度下的步伐以及應用於四足機器人運動的步態並透過機器人實現。



再以模仿步態時序，轉換成電機控制的相對命令。

▼為什麼發展人型（雙足）機器人，為什麼還需要四足機器人，其中的關鍵區別：

1. 結構與設計：四足機器人通常具備四足動物的運動和穩定性。在結構設計上強調在不平坦地形上的平衡和穩定，腿部設計為其提供自然的支撐，適應各種地形。然人型機器人的設計類似於人類，旨在執行人類可以完成的任務，如行走、操控物體和與人類環境互動。

2. 運動與靈活性：與雙足機器人相比，四足設計提供了更好的平衡性，使它們即使在不平坦的表面或受到外力時也能保持穩定。這種穩定性與適應性相結合意味著它們可以配備不同的工具和感測器來執行各種任務，適合應對岩石、濕滑等戶外環境。類似我們爬山時需要手腳並用，增加了更多的穩定與變異性。

3. 穩定性：四足機器人與地面有四個接觸點，更容易保持平衡，也能夠更有效地越過障礙物。反觀雙足僅依賴兩條腿保持平衡，此舉使得穩定性更具挑戰性。行走需要精確的動作協調，缺乏複雜控制系統時，所以，人型機器人更容易摔倒。

4. 應用領域：四足機器人因其穩定性和機動性，通常用於搜索與救援、軍事行動、監視和環境監測等需要在崎嶇地形上操作的應用。人型機器人常用於需要人類互動交流的環境，常見於研究、社交互動、服務機器人、醫療援助和娛樂等領域。

5. 複雜性：四足機器人雖需複雜的運動和平衡演算法，但就其設計來看則相對簡單，主要關注腿部運動和穩定性。人型機器人通常更複雜，涉及先進的關節控制、手臂和手的靈巧操控，以及面部表情或語音處理等人類特徵。

說到運動模式，除了本文探討的「足式機器人」，另有一種分支為「輪式／履帶式機器人」，哪一個比較好？其實，輪式機器人在下半身或腳部安裝輪子，提高移動速度和穩定性，主要用於平坦地面，適合快速移動和長時間任務。至於足式和輪式哪一種比較好，至今仍處於「公說公有理，婆說婆有理」的現況。建議將層面擴展於其應用需求及符合成本效益的角度來進行評估。此外，「混和式機器人」結合雙足和輪式或其他類型的移動機制優點，可以因地制宜般的根據環境和任務需要調整最合適的移動方式。雖然以控制的角度來說，這樣的混和式增加很多穩定與控制的挑戰，但搭配近日的學習演算法，確實不失為一種可兼顧多項優點的移動解決方案。

▼應用跟挑戰

隨著機器人技術的進步和對靈活自動化解決方案的需求不斷增長，四足機器人的市場正在大幅擴張。其中包括在苛刻條件下提供穩定性和適應性的複雜機器人解決方案的需求。四足機器人在各個領域的應用越來越廣泛，特別是在工廠巡檢、物流與運輸、基礎設施檢查、危險環境作業、數據收集與監控、自動化控制以及救援與應急任務等方面，展現出其獨特的優勢：

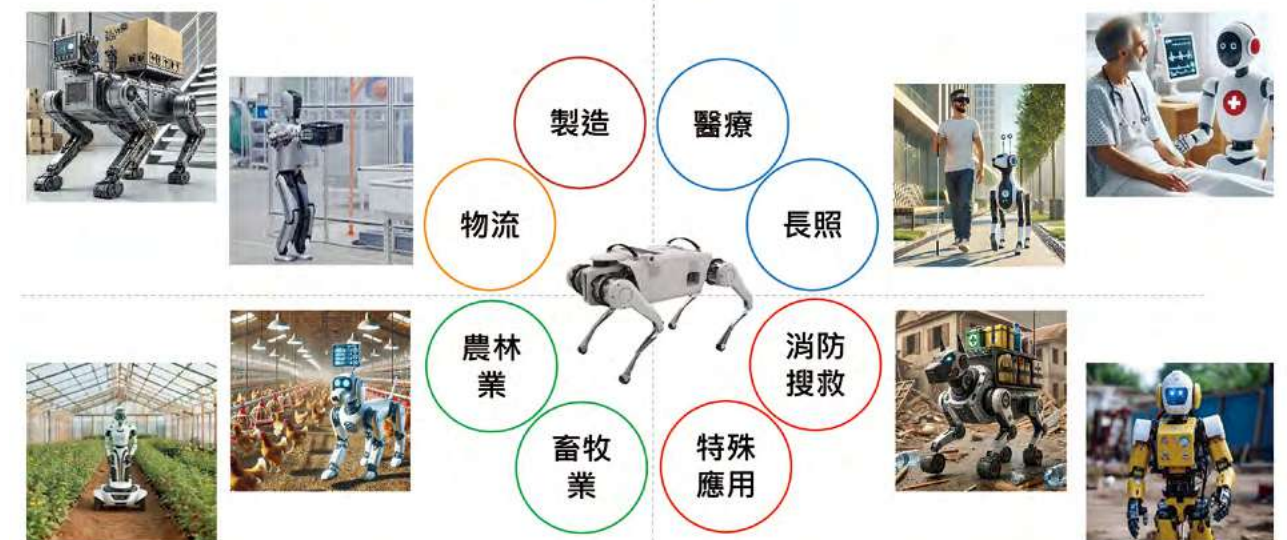
1. 工廠巡檢：四足機器人能夠在工廠內部進行自動化巡檢，檢查設備狀態和工作環境。它們具備優越的靈活性，能輕鬆穿越不平坦的地面、攀爬樓梯，並進入人類難以到達的區域，從而提高巡檢的效率和安全性。這不僅減少了人力成本，還能及時發現潛在的設備故障，降低停機時間。目前在高危險的化學工廠，或者是高溫的鋼鐵工廠，都可以考慮利用四足機器人搭載相關感測器來進行巡檢，減少工安的發生機率。

2. 物流、運輸與搬運：在物流領域，四足機器人可以自動運送包裹和貨物。它們能夠在複雜的環境中自主導航，並在惡劣的天氣條件下運行，這使得它們在倉庫管理和配送中非常有用。四足機器人的靈活性和適應性使其能夠在狹窄的通道和擁擠的環境中高效運作，提升整體物流效率。另可協助搬運小型設備或工具，減少人力需求，提升工作效率。

3. 數據收集與監控：四足機器人配備各種感測器，能夠進行環境監測和數據收集。這些數據可以用於分析生產過程，提供企業即時決策。透過 real time 數據監控，能夠及時因應並調整生產流程，提升效率和產品品質。

4. 基礎設施檢查：四足機器人可用於檢查橋樑、隧道和管道等基礎設施的狀況。它們能夠收集數據，幫助工程師進行維護規劃，從而提高基礎設施的安全性和效率。或進行定期檢查，及早發現結構性問題，減少維修成本和潛在的安全隱患。發揮其基礎設施檢查的任務價值。

5. 自動化控制：在生產線上，四足機器人可以用於自動化控制，協助搬運材料、裝配零件或執行檢查任務。其靈活性使其能夠在非結構化環境中自由移動，提升生產過程的靈活性和適應性，並能夠快速適應生產需求的變化。



四足機器人可以廣泛應用在日常生活與特殊應用中。

6. 危險環境作業：在危險的工業環境中，四足機器人可以執行高風險任務，例如在金屬冶煉或化學工廠中進行檢查，或是在狹窄和不穩定的地下通道中進行勘探，收集地質數據和環境資訊。取代人類在有毒或高溫的環境中承擔的作業風險與心理壓力，實際確保人類的安全。

7. 救援與應急任務：四足機器人擅長在複雜環境中進行檢查，進入難以到達的區域。在緊急服務和災難應變中，四足機器人可以穿過廢墟和不穩定的結構，或搭載熱像儀和其他感測器，在自然災害發生後定位倖存者或評估損失，從而降低人類救援人員的風險，快速定位被困者，提升救援效率。

8. 農業與畜牧業管理：在農業領域，四足機器人協助監測作物甚至放牧動物。在不損害農作物的情況下在田間導航，收集植物健康數據，並幫助精準農業實踐。

四足機器人在應用上雖然具有許多優勢，但也存在一些隱憂和挑戰，主要的有：

1. 初期成本投入的高壓力：四足機器人設計複雜且控制系統精密，通常比輪式或履帶式機器人更昂貴。其設計和製造通常涉及高昂的成本，包括材料、技術和維護費用，這種複雜性還會導致更高的維護需求，從而隨著時間的推移增加整體擁有成本。以自主開發的角度來看，相關產業生態系的完整程度，以及重要關鍵模組的成本都是需要投入的隱形成本。這可能使得一些企業在初期投資上感到壓力，尤其是中小型企業。

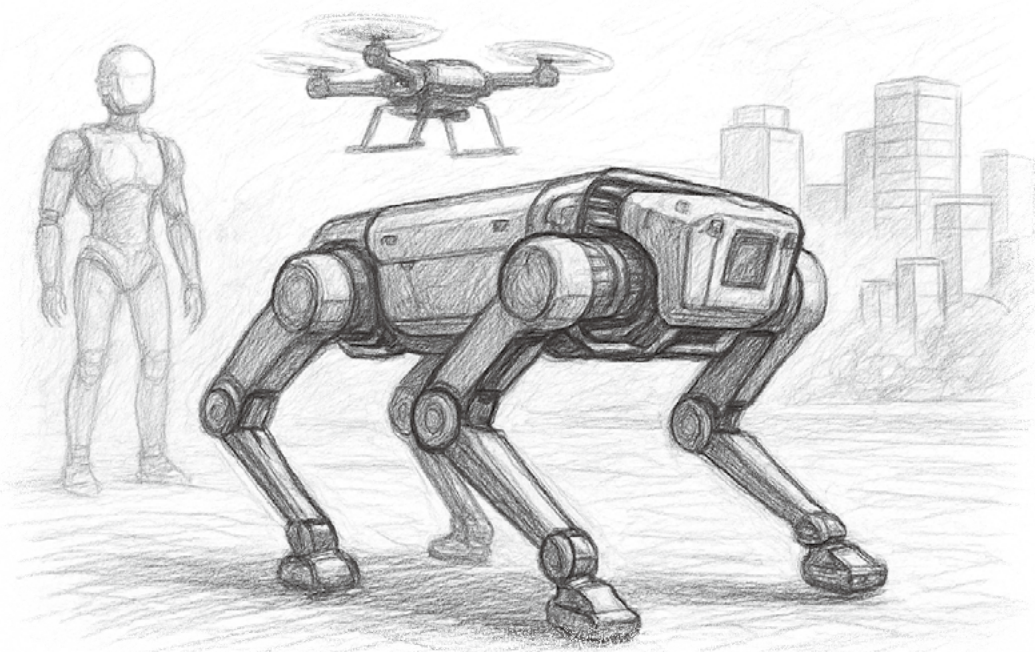
2. 技術複雜性與維護需求：四足機器人通常需要先進的控制系統和感測器，這使得其操作和維護變得複雜。雖然機器人的智慧持續在提升與進化，有硬體機構與實際真實世界互動的機器人仍是很困難的。企業需要具備相應的技術人員來進行操作和維護，增加了人力資源的需求。

3. 能源消耗與續航力不足：四足機器人在運行過程中可能需要大量的能源，腿部運動的電力需求會限制操作時間，特別是在進行複雜動作或在不平坦地形上行走時。直接影響其續航能力，若在需要長時間連續運作的應用中，這缺點尚待突破。

▼ 結論

目前市面上四足机器人的主要參與者包括波士頓動力（Boston Dynamics）、ANYbotics、Unitree Robotics、索尼（Sony）、Ghost Robotics、Nvidia、H Robotics、Agile

Robotics、Clearpath Robotics 及 歐姆龍（Omron）等。四足機器人憑藉其獨特的行動能力和多樣化的應用場景，正在逐步改變人類對機器人的傳統認知。隨著人工智慧、感測技術和材料科學的持續進步，未來的機器人將呈現出多樣化的形態和功能。然而，真正適合我們需求的機器人應該經過深入的評估，而非盲目跟隨市場潮流或隨意下結論。四足机器人的發展將朝向更高的智慧化和實用化，為未來社會帶來更多創新與可能性。我們應該保持開放的心態，積極探索這些技術所帶來的潛在應用，並謹慎選擇最符合需求的解決方案。



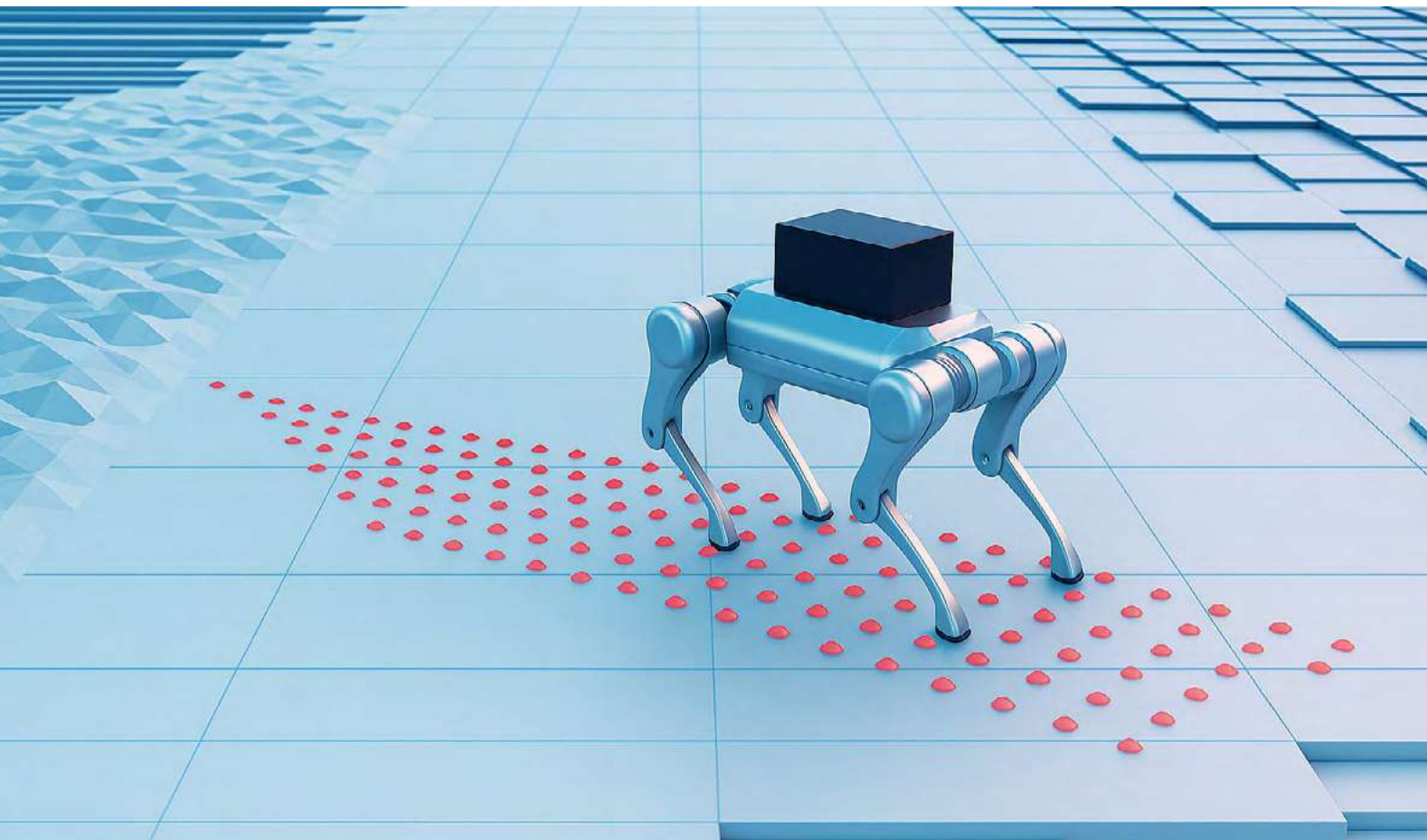
參考文獻

1 <https://www.marketresearchintellect.com/product/global-quadruped-robot-market-size-and-forecast/>
2 <https://howtorobot.com/expert-insight/quadruped-robots>
3 <https://cyberneticzoo.com/walking-machines/1968-phony-pony-frank-mcghee-american/>

四足機器人型號	Boston Dynamics Spot	Unitree A1	Ghost Robotics Vision 60	ANYbotics ANYmal	Xiaomi CyberDog
年分	2019	2020	2018	2021	2021
行走穩定性與速度	4 km/h，平穩行走多種地形	3.3 km/h，平穩行走平地	2.5 m/s，適應多種地形	2 m/s，適應多種地形	3.2 m/s，適應多種地形
負載能力	14 kg	5 kg	30 kg	30 kg	3 kg
續航力	90 分鐘	120 分鐘	180 分鐘	120 分鐘	90 分鐘
導航和感知能力	激光雷達、相機，全方位感知	激光雷達、深度相機	深度相機、IMU	3D 激光雷達、RGB-D 相機	深度相機、雷達
操作靈活性	高	中	高	高	中



四足機器人產業概況。



智慧型機器狗之設計與實現

隨著人工智慧與機器人技術的迅速發展，智慧型機器人已經在特定應用場域中展現出其高度潛力。近年來，仿生機器人的研究成為熱門議題，其中以四足機器狗因其優異的地形適應性與行動靈活性而備受關注。智慧機器狗融合了感測器模組、控制系統、步行演算法與機械結構設計，不僅能克服地形障礙，更具備自主導航、環境感知與工業巡檢等先進功能，廣泛應用於巡檢與陪伴照護等領域。本團隊共研發出四隻機器狗，分別是以 PLA 3D 列印之

文 | 國立臺灣大學機械系
郭重顯、莊明洋、朱建樺、郭育丞、
劉皓宇、鄭子嘉

小型機器狗（圖 1），具備人機互動之寵物型機器狗 Oliver、Quasar（如圖 2 左所示），以及應用於大型工業巡檢任務之機器狗 Dustin（如圖 2 右所示）。

本團隊先以輕量化之小型機器狗作為驗證平台，進行基礎步態、運動控制、以及基於感測器之回授的姿態平衡調節機制之研究；此外，機器狗上方亦搭載 LiDAR 感測器，可用於建置地圖與導航等功能。而 Oliver、Quasar 與 Dustin 皆以此基礎技術為核心，進一步強化其 AI 器強化學習之步行控制能力。

在機構設計方面，機器狗膝關節採用連桿機構驅動，以實現機器狗足部結構之輕量化，並透過調整馬達控制參數，使其剛性與響應符合需求。此外，機器狗搭載之感測器包含相機與 LiDAR，使其具備環境感知之能力，並結合 ChatGPT 與捲積神經網路（CNN）等人工智慧技術，提升機器狗應用於實際生活與工業場域之應用潛力，進而實現兼具智慧決策與產業價值之智慧型機器狗。



圖 1. 小型機器狗

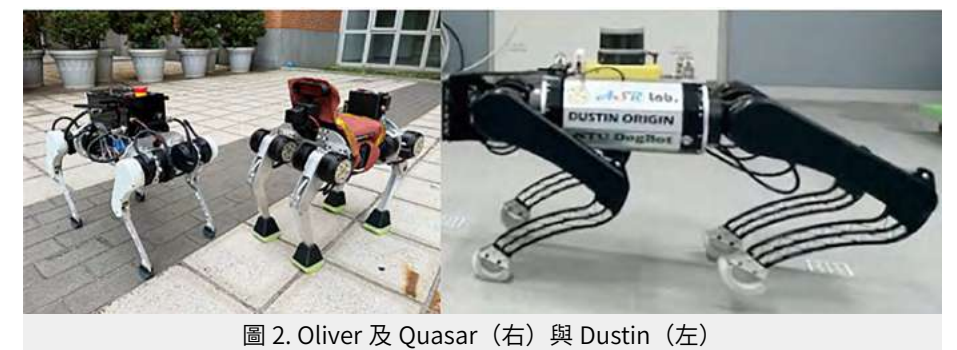


圖 2. Oliver 及 Quasar（右）與 Dustin（左）

▼輕量化之結構設計

機器狗之步行穩定度，除依賴步態規劃與控制演算法之調整與補償外，機構設計更是關鍵的一環。好的機構設計可簡化機器狗複雜之動力學模型，並提升整個系統之穩定性與性能，例如：採用輕量化之腿部機構設計，不僅可降低機構在擺動過程中的慣性負擔，亦能提升機器狗步行時之穩定性與靈活性。本團隊所設計之機器狗，主要以鋁合金與工程塑膠構成，能兼具結構剛性與結構強度，實驗輕量與結構強度之平衡。此外，機器狗之足端設計也至關重要，需具備足夠之摩擦力以提升抓地性

能，同時使用軟性之材質可有效減緩步行過程中之所產生之衝擊力，降低對結構與控制系統之負擔。重心配置與整體質量分布亦是影響穩定性之重要因素，如同人類若身體一側背負較重之物體，在跑步時將難以保持平衡，機器狗也有相同之問題。因此，將重心配置於機身中心並確保結構對稱，對於穩定行走具有明顯助益。最終，在關節馬達之選用上，需選擇低背隙（backlash）、扭力與轉速足夠，且具有良好之動態性能之致動氣，才能因應機器狗關節於步行中所需之來回擺動與快速反應的需求。綜合上述各項機構設計因素，方能實現具備穩定步態與良好適應性之智慧型機器狗。

接下來以本團隊之第一代 PLA 材料所製作之機器狗為例說明之，圖 3 為小型機器狗腿部之機構設計圖，其單側腿部具有三個自由度，可實現足底末端點於空間中之自由移動。三顆馬達皆集中配置於機器狗身體上方，透過多連桿機構驅動大腿與膝蓋關節之運動。大腿部分由一組平行四連桿機構所控制，而小腿則採用兩組四連桿機構進行驅動。整體設計以結構化之減重方式，並配合軸承裝配，以降低連桿機構之背隙問題，提升傳動精度與穩定性。腳底板則使用 HT33 自製矽膠腳墊製作，以提供適當之柔軟性與抓地力。

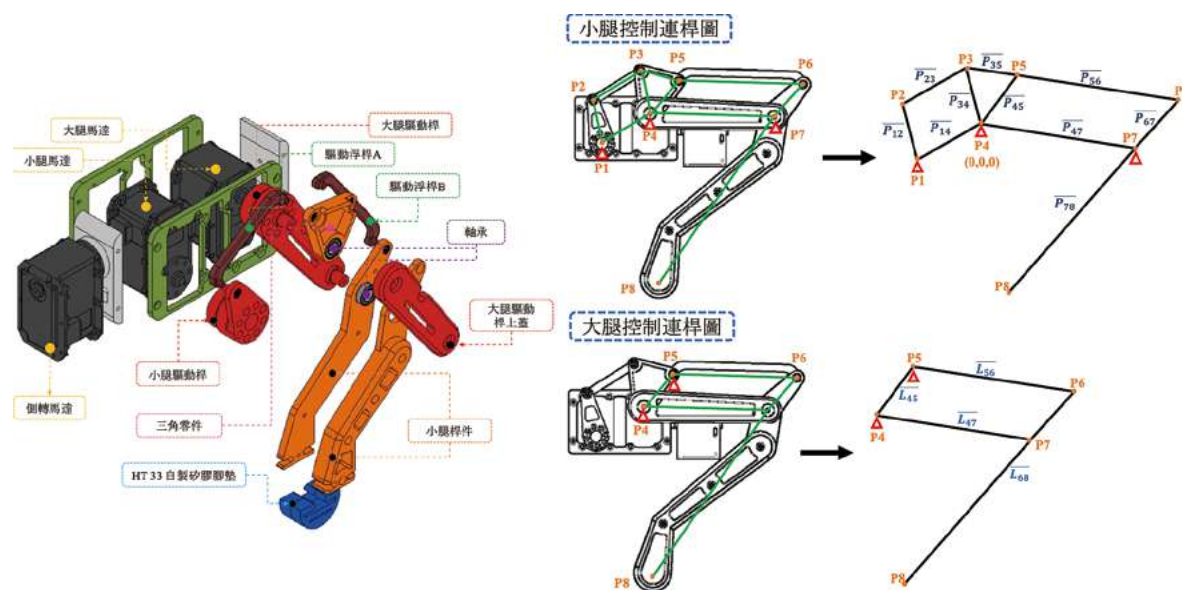


圖 3. 小型機器狗多連桿驅動之足部設計（第一代 PLA 機器狗為例）

Oliver、Quasar 與 Dustin 三款機器狗在結構設計上採用相同之基礎架構，每一條腿皆具備三個自由度。其第一軸之馬達負責實現腿部左右擺動，與大腿關節皆採用直驅式設計，以提升反應速度與控制精度；而膝關節則由配置於大腿上方之馬達，透過四連桿機構進行驅動，達成結構輕量化與動作穩定性的雙重目標。Oliver 之機體尺寸為長 53 公分、寬 32 公分、高 56 公分，如圖 4 右所示，屬於寵物型機器狗。Dustin 則為較大型之工業巡檢機器狗，整體長度約 90 公分、寬 40 公分、高 65 公分，如圖 4 左所示。兩者皆採用一顆 48V 鋰聚合物（Li-Po）電池作為主要電源供

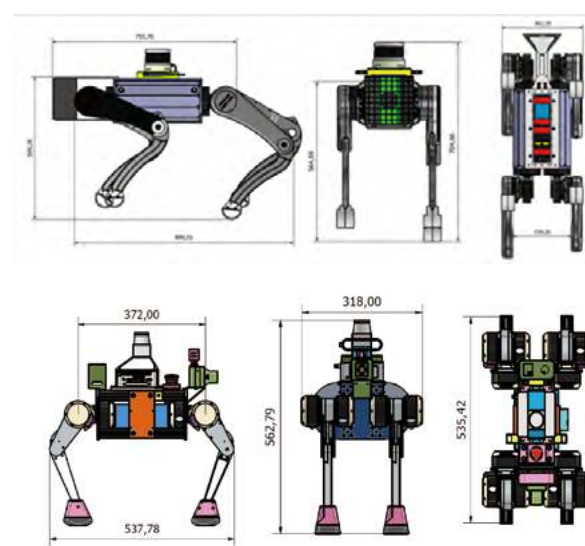


圖 4. Dustin（上）與 Oliver（下）之機構設計與尺寸圖

應系統，以支援長時間之自主運作需求。在致動器選擇方面，Oliver 與 Dustin 皆選用高響應、高扭力之直驅式盤形馬達，其特點為可於有限體積內整合馬達本體、無刷馬達控制器與減速機，有效節省空間並簡化布線配置。整體機構共包含 12 顆驅動關節，提供足夠的靈活度與控制自由度，以支援複雜地形的步行與多樣化任務執行。

▼ 仿生機器狗之步態軌跡規劃與平衡

仿生機器狗在移動過程中，其步行運動可分為兩個交替階段。當機器狗一隻腳離地並向前擺動時，足末端會在空中描繪出類似弧形的軌跡，此階段稱為「擺動相」，可有效減少與地面不必要的摩擦，並有助於保持運動連貫與平穩。當腳落地並施加力量推動身體前進時，則進入「支撐相」，此時產生的反作用力促使機體向前移動，如圖 5 左所示。透過不斷切換這兩個階段，可構成連續的步行模式。

本研究設計的仿生機器狗，實現了三種主要步態模式：基本行走（Walk）、對腳交替

快步（Trot），以及原地旋轉。其中，Walk 步態採取三足支撐、一足移動的策略，穩定性高且適用於慢速移動；Trot 則以對角線之腳交互抬腳，能達到較快的移動速度，但對步態協調與控制精度要求更高，相關步態切換如圖 5 中所示，黑框為擺動相、白框為支撐相。為實現原地改變方向，本系統亦設計了可使機體原地轉向的軌跡規劃方式，其腳部運動路徑示意如圖 5 右所示。為達成這些步態的實作，機器狗依據足底末端所需之位置，利用逆運動學模型計算出每個關節需達成的角度，進而轉換為馬達的控制指令，實現準確且平衡的步行動作。

然而，若機器狗未來要做更挑戰性的任務，例如負載物品或安裝機械手臂，其行走期間的姿態穩定將變得更加關鍵。為此，本系統在機器狗本體上整合了一組慣性量測單元（IMU），可即時取得加速度與角速度等運動參數，進而估算機體的空間姿態與移動狀態。這些感測資料不僅能即時反映動態變化，也可用作平衡控制的回授依據，讓機器狗即使在不平整或動態變化的地形上行走時，也能維持身體的穩定性。

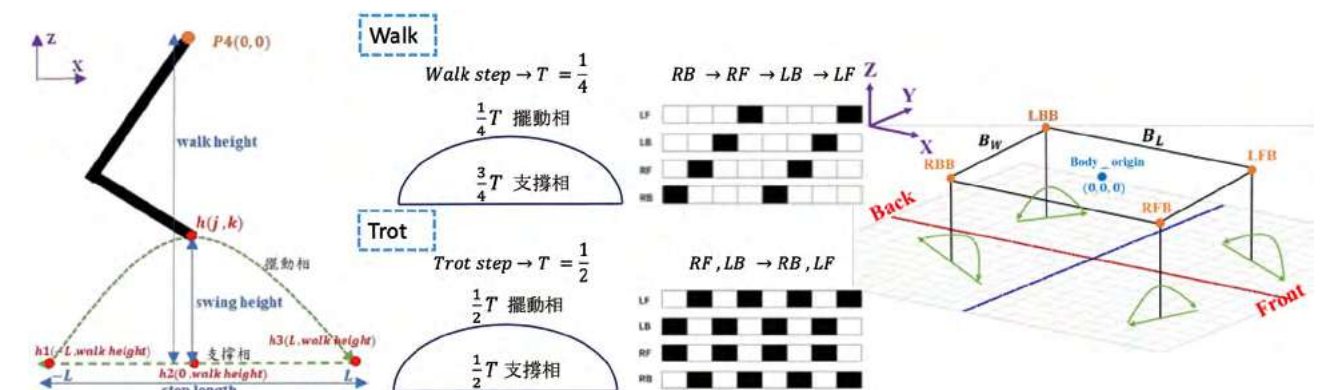


圖 5. 仿生機器狗之步態研究分析圖（第一代 PLA 機器狗為例）

圖 6 左所示為平衡性能驗證實驗，藉由改變地面傾斜角度，觀察機器狗在不同坡度下的姿態調整行為。圖 6 右則展示機器狗於顛簸地形行走時，所記錄之 IMU 資料，可見其機身傾斜角度維持在 3 度以內，顯示控制系統具備良好的平衡調節能力。最後，我們也在 NVIDIA Isaac 平台建置模擬環境，並開發強化學習 (RL) 穩定行走運動模型，最終藉由 Sim-to-real 導入 Quasar 達成實際行走之目的，而相關模擬環境以及實際行走狀況如圖 7 所示。

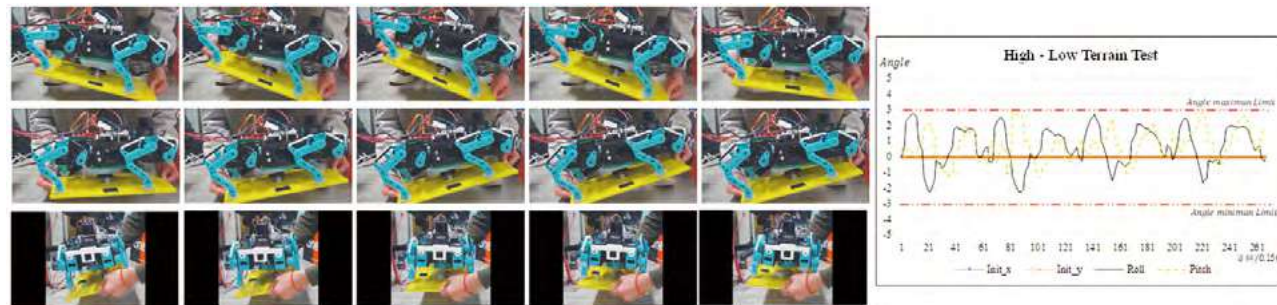


圖 6. IMU 之平衡控制實驗 (第一代 PLA 製作機器狗為例)

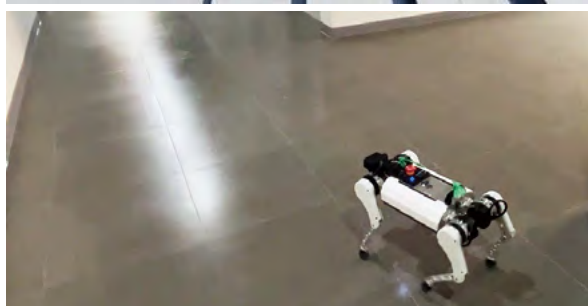
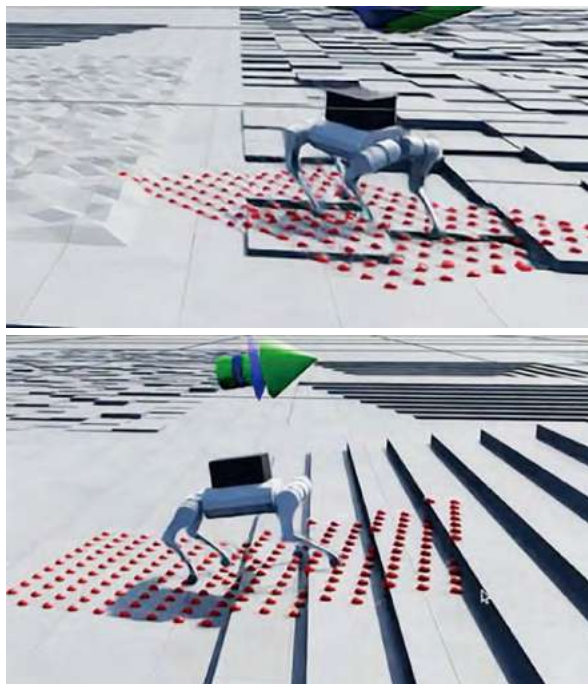


圖 7. 第四代 Quasar 機器狗之 RL 模型訓練成果以及實際行走狀況

▼基於 LiDAR 之機器狗定位與導航技術

為實現機器狗在動態環境中之自主行動，本研究整合雷射感測器與即時定位技術作為核心解決方案。在空間定位與導航部分，分別針對兩款機器狗使用不同類型的雷射掃描儀：Dustin 配置了三維光達 (3D LiDAR)，可取得環境中的空間深度資訊，而 Oliver 則搭載二維光達 (2D LiDAR)，具備平面環境掃描功能，兩者皆在 ROS1 系統架構下進行整合與開發。

定位與地圖建構方面，選用 Hector SLAM 作為主要的同步定位與建圖 (SLAM) 演算法。此方法不需依賴里程計資訊，特別適合於地形崎嶇或無法取得精確里程計之應用場景，如機器狗或無人機等非輪式平台。Hector SLAM 能夠藉由 LiDAR 掃描數據，即時建立精確的環境地圖，並同步估測機

器人自身所在位置。而 LiDAR 同步定位方面，系統引入 AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) 技術。AMCL 為一種基於粒子濾波原理的定位方法，透過大量粒子模擬機器狗的潛在位置，並根據觀測值與地圖的相符程度調整粒子分布，其「自適應」機制更能根據環境不確定性自動調整粒子數量，以達成效率與精度間的最佳平衡，適用於真實場域中具有高度變化性之應用需求。

在路徑規劃方面，採用 Timed-Elastic-Band (TEB) 演算法進行動態軌跡生成。TEB 能在考慮多種約束條件下 (如運動學限制、路徑偏離程度、周遭障礙物距離及時間成本等)，透過調整權重參數進行成本函數的優化，產生平衡穩定與效率之行進路徑，並具備即時修正能力，適用於動態環境中的導航規劃。此外，系統亦具備即時避障機制。當感測器偵測到突發障礙物進入光達預設的安全區域內時，機器狗會立即中斷移動指令並進行急停反應，以降低碰撞風險，提升整體運行安全性。最終，圖 8 為機器狗實際於室內與模擬戶外環境導航之測試，其皆可到達目標位置，且能感知環境中之靜態與動態障礙物，進行路徑規劃與避障。

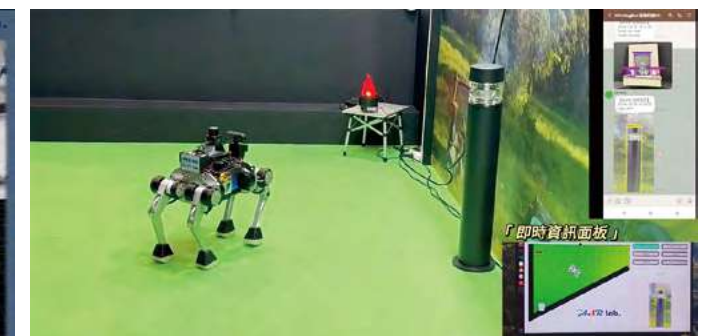


圖 8. 機器狗於室內、模擬戶外環境自主建圖與導航

▼寵物型機器狗 Oliver 之應用情境

Oliver 作為一款以人機互動為核心設計的寵物型機器狗，具備多樣化的互動功能，旨在提供使用者更加直觀與親近的操作體驗。首先，在動作學習與模擬方面，使用者可透過手持式遙控器對機器狗進行即時動作錄製，將每一組特定的動作儲存於電腦端，作為日後撥放動作之資料。透過此功能，Oliver 能夠學習並重現如搖晃身體、原地跳舞、跺腳等動作指令，如圖 8 左所示。此外，為實現與人類語言互動的功能，Oliver 內建麥克風模組，可接收並辨識來自使用者的語音指令，並結合 ChatGPT 語意分析模型進行語句理解與意圖判斷，進而觸發對應之動作回應。此語音互動系統使機器狗能在無需實體操作介面的情況下，實現如同寵物一般的語言溝通行為，顯示其於人機互動層面的高度潛能，如圖 8 中所示。最後，為進一步拓展其應用場域，本研究亦整合虛擬實境 (VR) 技術至機器狗之遠端操控功能中。使用者佩戴 VR 眼鏡後，可透過虛擬控制介面進行遠距操作，不僅能即時掌控 Oliver 的行動路徑與任務執行狀態，亦能結合視覺回饋系統完成如巡視、

遙控互動等應用。此功能展現 Oliver 在未來智慧家庭場域、教育互動平台以及遠端協作場景中之發展潛力與技術可行性，如圖 9 右所示。



圖 9. 寵物型機器狗 Oliver 之應用情境：（右上）透過遙控器錄製動作；（左下）機器人與人類互動；（右下）透過 AR 眼鏡遠端操控機器狗

▼大型工業巡檢機器狗 Dustin 之應用情境

大型工業巡檢機器狗 Dustin 具備自主導航能力，能自主導航至預先設定的巡檢點，並進行指定任務。透過卷積神經網路與影像處理技術，Dustin 能夠辨識巡檢點之儀表的數值、監測現場的環境噪音等資訊，進而判斷設備是否異常。巡檢過程中，相關結果可即時透過網

路傳送至管理者的手機，讓管理人員隨時掌握巡檢進度與狀況，提升現場監控的即時性與效率。此外，Dustin 亦整合 ChatGPT 模型，具備自然語言理解能力，使用者可透過語音與其對話，下達任務指令，使其執行相應的操作與巡檢任務。如圖 10 所示，Dustin 展現了其在智慧巡檢與人機互動領域的實用性與技術整合能力。

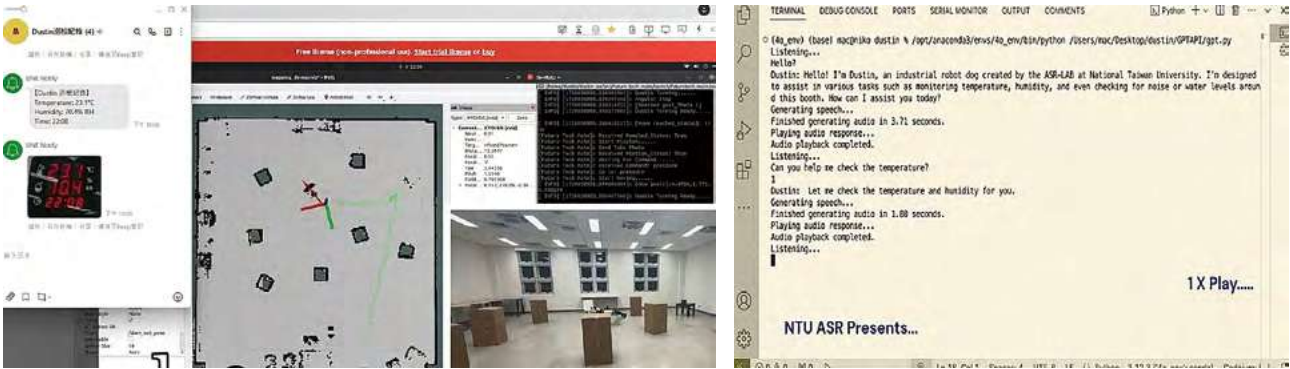


圖 10. 大型工業巡檢機器狗 Dustin 之應用情境

▼未來展望

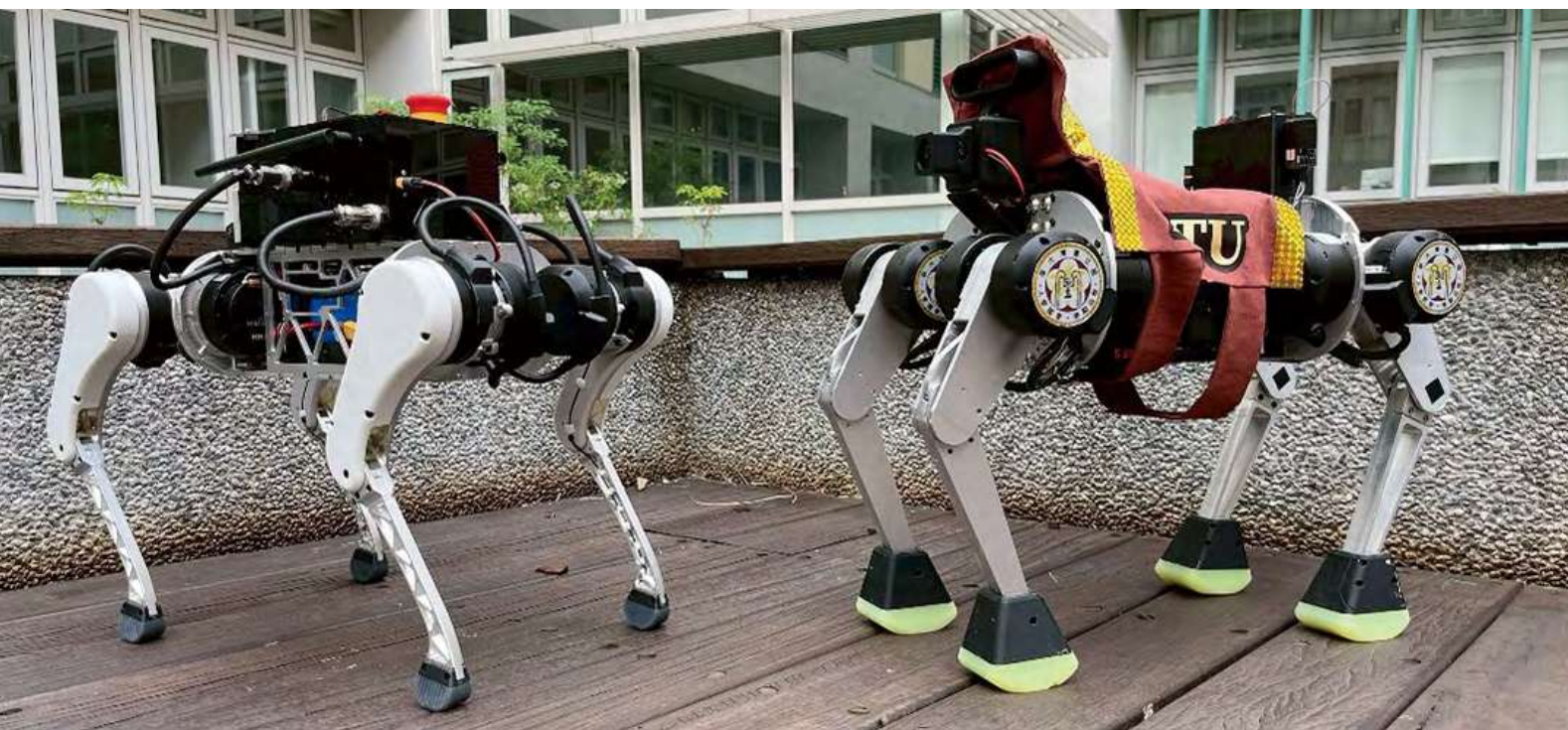
本研究整合了機器狗的運動控制、感測器模組與影像辨識等核心技術，展示出一套具備環境感知與基礎互動能力的智慧型機器狗。然而，目前在步行控制上仍主要仰賴預設的運動模式與固定參數，對於動態或不規則地形的適應性尚有限。未來在控制策略上，可望繼續深化強化學習方法，使機器狗能自我優化其步

態與動作反應，並在 NVIDIA Isaac Lab 等模擬平台，提供虛擬訓練環境與強化學習框架，將有助於加速控制演算法的開發與部署，並提升系統在真實世界中的穩定性與靈活度。

整體而言，未來本團隊智慧型機器狗可望結合更多 AI 先進技術，如強化學習、感測器融合與邊緣運算，進一步拓展其在巡檢、陪伴、救援等領域的應用潛力。

參考文獻

- 1 Boston Dynamics 機器狗 Spot : <https://www.bostondynamics.com/products/spot>
- 2 G. Bledt, M. J. Powell, B. Katz, J. Di Carlo, P. M. Wensing, and S. Kim, "MIT Cheetah 3 : Design and Control of a Robust, Dynamic Quadruped Robot," in Proc. IEEE/RSJ Intl. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS) , Madrid, Spain, Oct. 2018. doi : 10.1109/IROS.2018.8593885.
- 3 B. Katz, J. Di Carlo, and S. Kim, "Mini Cheetah : A platform for pushing the limits of dynamic quadruped control," in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA) , Montreal, Canada, May 2019, pp. 6295–6301.
- 4 X. Xie, P. Clary, E. Coumans, J. Tan, and B. Boots, "Learning agile and dynamic motor skills for legged robots," in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS) , vol. 33, pp. 21506–21517, 2020.
- 5 2. M. Aractingi, P.-A. Léziart, T. Flayols, J. Perez, T. Silander, and P. Souères, "Controlling the Solo12 quadruped robot with deep reinforcement learning," Scientific Reports, vol. 13, art. no. 11945, July 2023, doi : 10.1038/s41598-023-38259-7.
- 6 朱建樺，具有自主導航之機器狗設計與實現，國立臺灣科技大學 電機工程系 博碩士班 碩士論文，2023



台大機械郭重顯教授團隊所開發的機械狗 Oliver (右) 和 Quasar (左)

關於四足機器人的 一些想法

▼ 簡介

機器人，簡單來說，是可以自主進行任務的個體。要達到這個目的，站在工程的角度，實則需要內含多類型元件所構成的複雜系統方可達成。機器人的組成包含「硬體／空間 (spatial)」和「軟體／時間 (temporal)」的面向，如圖 1 所示，在空間上，包含結構、機構、與機電三個面向。而機電，則可更進一步拆分，由能源、處理器、致動器、感測器、通訊等元件所組成。在時間上，則是進行感測、決策、動作生成等三個階段的持續循環。藉由適當軟硬體的時空整合，機器人才可順暢的進行各種任務。

文 | 國立台灣大學
機械工程學系 仿生機器人實驗室
林沛群、沈意軒、許雅婷、賴彥澧、黃淵濤

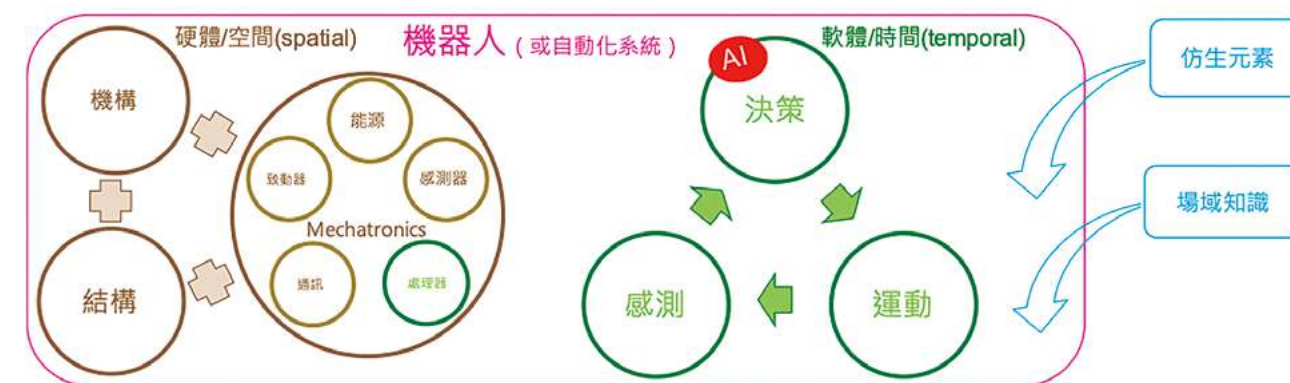


圖 1 機器人的組成

機器人這複雜系統的建構與完善，實則牢牢扣合著歷史上近 250 年來的工業化發展。18 世紀中期開始的工業 1.0，發明了蒸汽機（致動器），讓其它樣態的能源，能夠轉為機器能，順利的串聯了能源、致動器、機構、和結構來組成機器，開啟了機械動力的時代。經過百年的演化到了工業 2.0，產生了電網以及生產線的架構，電網代表著一種方便使用的「能源」形式，可以輸送到各個指定的地點，搭配著生產線的架構以及馬達（致動器）的發明與使用，讓機器在同樣能源、致動器、機構、和結構的架構下有了新的組成遠見，更進一步擴散了機器的使用性。工業 3.0 的電腦和自動化系統的生成，才算是機器人領域的開始。電腦搭配輸入輸出 IO 和感測器致動器，搭配電腦程式的感測決策運動的程式循環，讓機器人可以自主的依據外在環境狀態進行任務動作，並有效的在各類工廠中使用。所以簡單來說，機器人的歷史，就 50 年左右。10 年前左右德國開始提倡的工業 4.0，聚焦於 CPS、AI、IOT、自駕車、聯網等新興技術，更讓機器人具備更高的智能，以及多機間的協作，在生物的世界和人類的社會之外，開啟機器人的宇宙。

機器人由簡入繁，使可應用的場合和情境也逐漸多元化與複雜化。1970 年代的機器人，肇因於有限的感測、決策、和運動生成的能力，只能在工廠內進行簡單重複的任務。隨著圖 1 中各部分軟硬體的進步，機器人作為系統的能力也大幅成長。當然，要在複雜環境中能夠順暢的進行感測決策和運動的自主循環是有難度的，自駕車就是一個很好的例子。汽車已發展超過百年，但在近 20 年的自駕車發展之前，都是駕駛來進行感測和決策，決定方向盤和油門該如何操作，汽車本身只幫忙進行運動生成。近年由於感測器（如 LiDAR、RGB-D、雷達等）、處理器、和演算法等大大的進步，方可使自駕車在人類的複雜環境中自主運行，仔細回想，這真的就這 10 多年的事。

近年開始蓬勃發展的機器狗，會在這個時間點成為主流，也是圖 1 中各部分軟硬體的進步，到一個可以使系統良好整合的水準。多足類的仿生機器人，以學界來看，大概是 80 年代附近開始，雙足、四足、六足都有，這一些機器人在 90 年代左右有一個突破，主要是取決於當時微處理器和馬達的進步，微處理器具備運算能力和足夠的 IO，來和感測

器以及致動器連接；馬達具備足夠的能量密度，讓機器人可以自主行走。2010 年附近那一波日系人形機器人的蓬勃發展，也是在這個基礎下，搭配 Harmonic Drive 的使用而產生。過去十年，由於處理器和 AI 演算法的大力強化，以及高能量密度無刷馬達和各類型感測器的使用，讓機器狗和人形機器人再一次的蓬勃發展。機器狗類似於自動駕駛車，一樣是自主移動能力，但兩者有不同的技術面向。自駕車著重於高速下的精準感測和理解，來生成前後左右 2 個自由度的操控決策，最後運動生成則在平坦的馬路上，這倚賴百年的造車工藝，不是那麼困難。反之，機械狗的使用，就是為克服困難地表，包含爬過崎嶇地表和以動態跳躍等的方式來跨過溝渠等。由於地表的複雜度，便需要具備多個自由度的系統來進行，一般機械狗具備 12 個自由度，每隻腳 3 個，就是讓身體在特定位置下，各隻腳在腳長的允許下，能夠伸展到地表上各個地點。也因此，12 個自由度的協同來完成機器狗移動的能力，就成了發展重點。在感測方面，看的環境和自駕車相比或許有同有異，但由於運動速度不高，需求或許較低，若有錯誤，安全性的疑慮也較低。

在接下來的段落裡，就以機器人發展歷史的角度，來分享世界上四足機器人的演進。由於發展是以團隊為主，團隊又多以一個或數個機器人構型來研發，因此是以機器人（系列）為分類說明的方式。由於在文章中放機器人照片會需要和各個研發團隊申請圖片使用版權，程序有些複雜，本篇文章就以文字描述，敬請見諒，各個機器人的圖片均可以在網路上搜尋到。

▼四足機器人

• TITAN

TITAN 系列由東京工業大學於 1990 年開發 [1-19]，針對崎嶇地形與重載任務設計，具備高剛性、模組化與伸縮式腿部機構。為改善靜態步態效率與動態穩定性，結合 Sky-Hook 姿態抑制與間歇小跑步態，實現穩定快速的越障能力。TITAN-VIII 採三自由度線傳動腿設計，並透過折彎加工與標準零件兼顧成本與性能。其步態切換與地形自適應實驗為後續仿生設計奠定基礎，並深刻影響如 Cheetah 與 Spot 等機器人之發展。

• SCOUT

1998 年，McGill 大學發表了 SCOUT 系列四足機器人 [20-26]，採極簡設計，每腿僅配置一自由度，透過動量轉移與姿態控制實現行走、轉向與越階功能。該設計強調低成本與高可靠共存，展現接近高自由度平台的運動能力。SCOUT 為「控制驅動機構設計」的典型案列，啟發後續研究思考在災區巡檢、教育與野外探索等場域下，低自由度平台同樣具備實用潛力，對機器人系統整合觀念產生深遠影響。

• HyQ

由義大利技術研究院（IIT）所開發的 HyQ 系列 [27-30]，是液壓驅動四足機器人的代表。該系列的開發動機來自於對高動態四足運動的極致追求。液壓驅動系統的高功率密度與響應速度，使其非常適合高衝擊、高加速度等運動行為。該系列的貢獻不僅在於展示液壓四足的可能性，更在於對控

制理論與實驗平台的結合深度。儘管液壓系統在體積、重量與能耗上有劣勢，其高功率密度與控制彈性仍具競爭力，特別適合應用於戶外行動與救災等高強度任務。

• StarlETH

瑞士蘇黎世聯邦理工學院（ETH Zurich）於 2013 年推出 StarlETH [31-37]，目標為提升四足機器人在崎嶇、未知地形上的步態多樣性與動態穩定性。平台採用分層式控制架構，結合倒立擺模型預測、虛擬力控制與足端動態規劃，可即時切換靜態步行、小跑與奔跑模式。整體而言，StarlETH 在控制架構、敏捷步態生成與地形適應等方面的技術突破，為高機動四足機器人的發展建立關鍵基礎，並對後續如 ANYmal 等平台產生深遠影響。

• MIT Cheetah

MIT Cheetah 是麻省理工學院的重要代表作 [38-56]。早期展現高速奔跑與跳越障礙能力，隨著技術演進引入模型預測控制（MPC）、觸地偵測與凸優化，即使無視覺也能穩定盲態行走、攀爬樓梯與應對複雜地形。2019 年推出的 Mini Cheetah 為開源平台，輕巧模組化並具後空翻、自主翻身與高速奔跑能力。

進入 2020 年代，MIT 團隊結合視覺與深度強化學習，讓機器人能即時規劃動作，並逐步實現純學習型控制，在多變地形下展現高適應性。近年來，進一步採用完全以深度強化學習的控制方法，讓 Mini Cheetah 在模擬環境中進行長期的自我學習，掌握

各種地形的高速奔跑策略，實際奔跑速度提升至每秒 3.9 公尺，超越人工設計控制器的紀錄。當前技術趨勢明顯朝向混合式控制架構發展，這種資料驅動方法使機器人能實現類生物般的高適應性與自主智能。

• RoboSimian

由加州理工學院與 NASA 於 2014 年共同開發的 RoboSimian [57-61]，專為極端環境中的支撐與操作任務設計。面對高自由度與冗餘控制挑戰，提出結合支撐映射與多種雅可比矩陣的分層規劃架構，發展最小範數、任務優先與加權最佳化策略，有效兼顧穩定性與操作性能。為加速逆運動學求解，開發離線 IK 查表與改良 RRT-Connect 結合，動態切換參數以適應地形變化。RoboSimian 展現了在高自由度規劃、冗餘控制與本體感知方面的先進能力，為災難救援與太空探索等任務提供可靠技術基礎。

• ANYmal

瑞士蘇黎世聯邦理工學院（ETH Zurich）自 2017 年推出 ANYmal [62-84]，致力於推動腿式機器人走入真實場域。早期採用倒立擺模型、接觸力優化與模型預測控制等方法，成功完成樓梯攀爬、障礙跨越與平衡測試。2019 年率先把深度強化學習引入控制，透過大量模擬學會在泥地、碎石、冰面等複雜地形維持穩定。後續更成功攀登阿爾卑斯山，登上 Science Robotics 封面。其後商業版把深度強化學習控制器以「Trekker」之名固化於韌體，讓使用者無須調參即可在濕滑碎石與開敞格柵樓梯上穩定行走。近年研發轉向任務導向與高階

能力整合。於最新 ICRA 會議中，展示結合先進地形感知與強化學習的成果。這些成果代表 ANYmal 正從單純的巡檢平台，進化為具備在線學習、自主決策與複合操作能力的多功能移動機器人。

• Minitaur

賓州大學於 2016 年開發的 Minitaur [85-91]，採用高扭矩無齒輪電機與對稱五連桿機構的直接驅動設計，突破傳統齒輪驅動在動態性能與運動透明性上的限制。藉由熱特定轉矩與全身加速度可行性指標作為設計準則，Minitaur 展現高頻率控制、穩定跳躍與優異的力覺回饋能力。團隊提出「靜態 / 動態失配」概念，透過動態策略讓小型機器人也能完成如開門與爬樓梯等任務，擴展其環境適應性。進一步研究則以分層模板與輸入去耦技術分離質心與姿態控制，於高能量運動中實現接近 MPC 效能的即時控制。

• Spot

Boston Dynamics 自商業化的 Spot [92-96] 憑藉堅固機構、開放軟體與輕巧設計，迅速成為全球部署最廣的四足平台。在控制技術方面，以強化學習為基底的步態產生器作為核心控制引入到控制架構之中，研究者可借助 GPU 大規模平行計算的優勢，在模擬中進行百萬回合強化學習，並直接將習得之策略應用在機器人控制上，使機器人對碎石、冰面及坡地等非理想地面的動態穩定性顯著提升。成果得到驗證，縮短從訓練到實驗的周期。

• Solo 12

Solo 12 是由多國家研究機構共同推動的開源平台 [97-100]，特色是完全開源並使用低成本的设计來達成高扭矩的輸出控制。其採用 12 個對稱驅動模組與 3D 列印足部機構，重量僅約 2.5 kg，是常見足式機器人控制策略驗證的實驗平台之一。經典作品 SoloParkour 展示離線學習結合即時視覺推理的架構，使機器人僅憑深度相機即可實現走、跳、匍匐等行為。憑藉低成本與高動態性能，Solo 12 已廣泛用於模型預測控制與強化學習等領域，展現其作為研究平台的高度實用性。

• Oliver 和 Quasar

台大機械系郭重顯老師的團隊也深耕機器狗多年，具有多個尺寸的機器狗開發，原型也在去年 5 月 29 日與國科會記者會中發表。團隊持續優化現有機種和開發新型態的機器狗，並導入 AI RL 進行機器狗運動行為模型訓練。如圖 2 所示，右邊的機器狗是去年所開發的 Oliver 小型機器狗，而左邊這是今年剛研發出來以 RL 為基礎的小型機器狗 Quasar。



圖 2 台大機械郭重顯教授團隊所開發的機械狗 Oliver (右) 和 Quasar (左)

▼ 輪腳複合式機器人

輪是人類文明的精巧發明，在平坦地面上，輪驅動的動力完全可以用於輪和載體本身的加減速，載體的重力則由輪結構本身來支撐。腳在垂直姿態時也是類似的特性，但在其它姿態下，關節的扭力首先需要承載載體的重力，有多餘的扭力才能用於腳和載體的加減速。也因此，輪和腳各自具備互補的特色：輪在平坦地面上可高速、省能、和穩定的運行；腳則可以在崎嶇地上穿越，甚至跳躍來穿越輪不可以跨過的溝渠。這顯著的特性差異，也讓有一群學者進行輪腳複合機器人的開發，試圖讓機器人在各類型地表上，均能有對應優化的運動模式。以下即針對一些複合機器人進行介紹。

• Roller-Walker

東京工業大學於 1996 年提出 Roller-Walker [101-105]，透過設計具可旋轉踝關節的特製足部，實現步行與被動輪滑行模式切換，並以模擬優化足部運動軌跡，有效提升推進效率與地形適應性。1999 年，團隊成功整合可變形踝關節與被動輪，並透過步態優化實現穩定滑行，實驗結果與模擬高度一致。後續團隊針對不同地形與摩擦條件，提出速度誤差導引的非對稱性調整機制，實現如同汽車變速般的適應推進能力。2011 年進一步建立以比阻抗為指標的能效模型。該系列藉由輕量機構與步態控制創新，顯著提升地形適應與移動效率，為後續全地形機器人設計提供關鍵參考。

• Quattroped

我們團隊於 2009 年開發出 Quattroped

[106-109] (圖 3)，旨在突破腿輪混合機器人結構複雜與地形適應性不足的瓶頸。團隊設計具輪腿一體可變結構，透過可展開輪圈轉換為二自由度腿部，搭配雙電機驅動與即時嵌入式控制系統，實現輪行與步行模式間直接切換。初步驗證轉換機構與基本步態控制，展示兼具高效輪行與地形適應潛力，為可變構型移動平台提供新基礎。2011 年也提出樓梯攀爬的方法。後續團隊進行平地輪行、步行跨障礙與樓梯攀爬等動態行為測試，實驗證明 Quattroped 能穩定完成多種模式切換與複雜地形通過，展現轉換機構與雙模態設計的實用性與高機動性。實驗結果顯示，Quattroped 在平地可達 3 倍體長每秒的高速輪行，並具備穩定越障、樓梯攀爬與自然地形穿越能力，首次證明單一動力整合雙模態移動的可行性，為混合型機器人設計帶來嶄新解決方案。

• TurboQuad

其後，我們團隊於 2014 年推出 TurboQuad [110-113] (圖 3)，針對傳統腿輪變形機器人變換形態時需中斷運動的問題，開發可在運動中流暢切換的新型平台。TurboQuad 採用無需額外驅動器的被動輪腿變形機構，結合基於 Hopf 振盪器的中樞模式生成器 (CPG) 控制架構，實現輪行、步行與小跑 (trot) 三模式間無縫轉換，提升混合地形下的行動效率與適應性。2017 年，團隊進一步優化設計，採用雙自由度動力整合腿輪機構，搭配耦合振盪器網路控制策略，使 TurboQuad 能在行進間快速切換模式，並於不同地形與速度條件下展現高效能與能效，為腿輪混合型機器人提供新結構與控制

框架。為提升動態過渡性能，2018 年基於彈簧負載倒擺（SLIP）模型，團隊設計即時調整腿部虛擬彈簧剛度與著地角度的控制策略，使 TurboQuad 能在單一步態週期內穩定切換運動狀態，突破以往需多步收斂的限制，強化動態地形適應能力。此外，為提升自主性，團隊整合 RGB-D 相機地形感知與卷積神經網路（CNN）地形分類，使機器人能依據環境資訊自主選擇輪行、步行等適應步態並進行避障導航，提升多地形探索效率與續航力。

• Corgi

是實驗室第三代的輪腳複合機器人（圖3），整個驅動系統和機構都更新過，具備動態操作的能力，可以在高速運行下跳上一個階梯。技術細節會陸續公布，目前先以照片方式呈現。

• Momaro

Momaro 是德國波恩大學於 2015 年所開發的輪 - 腿混合救災平台 [114-118]，具備四肢雙輪結構與彈性碳纖腿架，在平地可全向滑行，遇高差地形則切換為足式跨越與攀爬，融合輪速與步態優勢。感知系統整合 3D LiDAR、全景攝影機與手掌鏡頭，強化操作視野與姿態估測。Momaro 於 DRC 獲得第四名佳績並持續發展混合行走／駕駛規劃、任務導向操作與最適化手臂軌跡，並於 DLR SpaceBot Cup 驗證其在粗礫與失聯場域下的強大韌性。

• ANYmal on Wheels

輪式 ANYmal 概念源於 2018 年 [119-121]，



圖 3 實驗室所開發的多代輪腳複合機器人：第一代 Quattroped（上）、第二代 TurboQuad（中）、第三代 Corgi（下）

目標是結合輪子的高效率與腿的越障能力。在 ANYmal 的足端加裝主動輪，並透過非完整滾動約束建模，讓控制器可於同一優化問題中同時規劃重心運動與輪速。此設計不僅展現卓越的地形適應與能效，更促成「Rolling in the Deep」等示範影片廣泛關注。近年整合分層強化學習與自主導航，讓輪腿切換依據地形與環境自動決策，並以雲端模擬加速訓練，成功完成公里級自主任

務。2024 年發表於《Science Robotics》的成果證明輪腿融合不僅能提升速度與耐力，亦具城市級實用潛力。

▼ 小結

機器人是一個包含時空面向的複雜系統，其性能的好壞，取決於硬體各零組件的性能、軟體各程式的效能、以及整體整合的完整性。上述各個機器人隨者時間推進所達成性能的提升，都是需要時間的累積。在科技發展過程中，每一階段零組件和軟體的突破，都有機會帶來機器人發展的典範轉移。從機械手臂的自動化技術開始；輪型移動機器人的研發，引伸出自駕車的獨立領域；多旋翼機的研發，引伸出一

References

[1] HIROSE, Shigeo, et al. Design of prismatic quadruped walking vehicle TITAN VI. Journal of the Robotics Society of Japan, 1991, 9.4: 445-452.

[2] YONEDA, Kan; HIROSE, Shigeo. Dynamic and static fusion gait of a quadruped walking vehicle on a winding path. Advanced Robotics, 1994, 9.2: 125-136.

[3] YONEDA, Kan; IYAMA, Hiroyuki; HIROSE, Shigeo. Sky-hook suspension control of a quadruped walking vehicle. Journal of the Robotics Society of Japan, 1994, 12.7: 1066-1071.

[4] YONEDA, Kan; IYAMA, Hiroyuki; HIROSE, Shigeo. Intermittent Trot Gait of a Quadruped walking Machine—Dynamic Stability Control of an Omnidirectional Walk—. Journal of the Robotics Society of Japan, 1996, 14.6: 881-886.

[5] ARIKAWA, Keisuke; HIROSE, Shigeo. Development of quadruped walking robot TITAN-VIII. In: Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IROS'96. IEEE, 1996. p. 208-214.

[6] TSUKAGOSHI, Hideyuki; HIROSE, Shigeo; YONEDA, Kan. Maneuvering operations of a quadruped walking robot on a slope. Advanced robotics, 1996, 11.4: 359-375.

[7] HIROSE, Shigeo; YONEDA, Kan; TSUKAGOSHI, Hideyuki. TITAN VII: Quadruped walking and manipulating robot on a steep slope. In: Proceedings of International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 1997. p. 494-500.

[8] KATO, Keisuke; HIROSE, Shigeo. Development of the quadruped walking robot, "TITAN-IX". In: 2000 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IECON 2000. 2000 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation. 21st Century Technologies. IEEE, 2000. p. 40-45.

[9] LEE, Yun-Jung; HIROSE, Shigeo. Three-legged walking for fault tolerant locomotion of a quadruped robot with demining mission. In: Proceedings. 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000)(Cat. No. 00CH37113). IEEE, 2000. p. 973-978.

[10] KURAZUME, Ryo; YONEDA, Kan; HIROSE, Shigeo. Feedforward and feedback dynamic trot gait control for quadruped walking vehicle. Autonomous robots, 2002, 12: 157-172.

[11] SUGANUMA, Shinichi, et al. Development of detachable tele-operation gripper for the walking robot. In: Proceedings 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003)(Cat. No. 03CH37453). IEEE, 2003. p. 3390-3395.

[12] HODOSHIMA, Ryuichi, et al. Development of TITAN XI: a quadruped walking robot to work on slopes. In: 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566). IEEE, 2004. p. 792-797.

[13] DOI, Takahiro, et al. Development of a quadruped walking robot to work on steep slopes, TITAN XI (walking motion with compensation for compliance). In: 2005 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems. IEEE, 2005. p. 2067-2072.

[14] HIROSE, Shigeo, et al. Quadruped walking robot centered demining system-development of titan-ix and its operation. In: Proceedings of the 2005 IEEE international conference on robotics and automation. IEEE, 2005. p. 1284-1290.

[15] OHTSUKA, Shumpei, et al. Development of terrain adaptive sole for multi-legged walking robot. In: 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2010. p. 5354-5359.

[16] HODOSHIMA, Ryuichi, et al. Development of track-changeable quadruped walking robot TITAN X-design of leg driving mechanism and basic experiment. In: 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2010. p. 3340-3345.

[17] ENDO, Gen; ARIKAWA, Keisuke; HIROSE, Shigeo. An empirical comparison of a free dynamics simulator "Open Dynamics Engine" with TITAN-VIII hardware torque/power measurements. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2011. p. 6065-6070.

[18] KITANO, Satoshi, et al. Development of lightweight sprawling-type quadruped robot TITAN-XIII and its dynamic walking. In: 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2013. p. 6025-6030.

[19] KITANO, Satoshi, et al. Trot gait based feed-forward walking on challenging terrain: Case of high step climbing. In: 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). IEEE, 2015. p. 2519-2524.

[20] BUEHLER, Martin, et al. SCOUT: A simple quadruped that walks, climbs, and runs. In: Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 98CH36146). IEEE, 1998. p. 1707-1712.

[21] PAPADOPOULOS, Didier; BUEHLER, Martin. Stable running in a quadruped

般飛行器之外的低空應用發展；而旋翼機驅動系統的研發，間接帶動四足機器人可展現出動態性能而有顯著的性能突破；近年 AI 的大躍進，機器人被重新思考為 embodiment AI 中最重要的載體，加上多位科技巨頭的背書，讓人型機器人在這幾年蓬勃發展，目前的話題性居高不下。長遠來說，發展智能機器人有助於更全面替代人類進行其所不願意做的雜事，讓人類悠遊於高生活素質的環境中，當然，在這個巨大的典範轉移後，如何建構人類世界一個新的生命和生活的樣態，或許還有非常多的議題待探索和解決。機器人所帶入的議題，如同機器人本身的複雜性和整合性，是需要多面向處理的，在工程之外，仍須自然科學甚至社會科學的導入，才有辦法更完善的探索。

robot with compliant legs. In: Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No. 00CH37065). IEEE, 2000. p. 444-449.

[22] HAWKER, Geoff; BUEHLER, Martin. Quadruped trotting with passive knees: design, control, and experiments. In: Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No. 00CH37065). IEEE, 2000. p. 3046-3051.

[23] DE LASA, Martin; BUEHLER, Martin. Dynamic compliant quadruped walking. In: Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 01CH37164). IEEE, 2001. p. 3153-3158.

[24] POULAKAKIS, Ioannis; PAPADOPOULOS, Evangelos; BUEHLER, Martin. On the stable passive dynamics of quadrupedal running. In: 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 03CH37422). IEEE, 2003. p. 1368-1373.

[25] POULAKAKIS, Ioannis; SMITH, James Andrew; BUCHLER, M. Experimentally validated bounding models for the Scout II quadrupedal robot. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004. IEEE, 2004. p. 2595-2600.

[26] SMITH, James Andrew; POULAKAKIS, Ioannis. Rotary gallop in the untethered quadrupedal robot scout II. In: 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566). IEEE, 2004. p. 2556-2561.

[27] SEMINI, Claudio, et al. HyQ-Hydraulically actuated quadruped robot: Hopping leg prototype. In: 2008 2nd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics. IEEE, 2008. p. 593-599.

[28] SEMINI, Claudio, et al. Design of HyQ—a hydraulically and electrically actuated quadruped robot. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, 2011, 225.6: 831-849.

[29] SEMINI, Claudio, et al. Design of the hydraulically actuated, torque-controlled quadruped robot HyQ2Max. IEEE/Asme Transactions on Mechatronics, 2016, 22.2: 635-646.

[30] SEMINI, Claudio, et al. Brief introduction to the quadruped robot HyQReal. In: International Conference on Robotics and Intelligent Machines (I-RIM). IRIM, 2019.

[31] GEHRING, Christian, et al. Control of dynamic gaits for a quadrupedal robot. In: 2013 IEEE international conference on Robotics and automation. IEEE, 2013. p. 3287-3292.

[32] GEHRING, Christian, et al. Towards automatic discovery of agile gaits for quadrupedal robots. In: 2014 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2014. p. 4243-4248.

[33] HALDANE, Duncan W., et al. Detection of slippery terrain with a heterogeneous team of legged robots. In: 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2014. p. 4576-4581.

[34] HUTTER, Marco, et al. Toward combining speed, efficiency, versatility, and robustness in an autonomous quadruped. IEEE Transactions on Robotics, 2014, 30.6: 1427-1440.

[35] GEHRING, Christian, et al. Dynamic trotting on slopes for quadrupedal robots. In: 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2015. p. 5129-5135.

[36] GEHRING, Christian, et al. Practice makes perfect: An optimization-based approach to controlling agile motions for a quadruped robot. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2016, 23.1: 34-43.

[37] WERMELINGER, Martin, et al. Navigation planning for legged robots in challenging terrain. In: 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2016. p. 1184-1189.

[38] SEOK, Sangok, et al. Design principles for highly efficient quadrupeds and implementation on the MIT Cheetah robot. In: 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2013. p. 3307-3312.

[39] PARK, Hae-Won; PARK, Sangin; KIM, Sangbae. Variable-speed quadrupedal bounding using impulse planning: Untethered high-speed 3d running of mit cheetah 2. In: 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2015. p. 5163-5170.

[40] PARK, Hae-Won, et al. Online planning for autonomous running jumps over obstacles in high-speed quadrupeds. 2015.

[41] BLEDT, Gerardo; WENSING, Patrick M.; KIM, Sangbae. Policy-regularized model predictive control to stabilize diverse quadrupedal gaits for the MIT cheetah. In: 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017. p. 4102-4109.

[42] PARK, Hae-Won; WENSING, Patrick M.; KIM, Sangbae. High-speed bounding with the MIT Cheetah 2: Control design and experiments. The International Journal of Robotics Research, 2017, 36.2: 167-192.

[43] DI CARLO, Jared, et al. Dynamic locomotion in the mit cheetah 3 through convex model-predictive control. In: 2018 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS). IEEE, 2018. p. 1-9.

[44] BLEDT, Gerardo, et al. Mit cheetah 3: Design and control of a robust, dynamic quadruped robot. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018. p. 2245-2252.

[45] NGUYEN, Quan, et al. Optimized jumping on the mit cheetah 3 robot. In: 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2019. p. 7448-7454.

[46] KIM, Donghyun, et al. Highly dynamic quadruped locomotion via whole-body impulse control and model predictive control. arXiv preprint arXiv:1909.06586, 2019.

[47] KATZ, Benjamin; DI CARLO, Jared; KIM, Sangbae. Mini cheetah: A platform for pushing the limits of dynamic quadruped control. In: 2019 international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2019. p. 6295-6301.

[48] DUDZIK, Thomas, et al. Robust autonomous navigation of a small-scale quadruped robot in real-world environments. In: 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2020. p. 3664-3671.

[49] CHIGNOLI, Matthew; WENSING, Patrick M. Variational-based optimal control of underactuated balancing for dynamic quadrupeds. IEEE Access, 2020, 8: 49785-49797.

[50] KIM, Donghyun, et al. Vision aided dynamic exploration of unstructured terrain with a small-scale quadruped robot. In: 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2020. p. 2464-2470.

[51] JEON, Se Hwan; KIM, Sangbae; KIM, Donghyun. Real-time optimal landing control of the mit mini cheetah. arXiv preprint arXiv:2110.02799, 2021.

[52] ARENA, Paolo; PATANÈ, Luca; TAFFARA, Salvatore. Energy efficiency of a quadruped robot with neuro-inspired control in complex environments. Energies, 2021, 14.2: 433.

[53] CHIGNOLI, Matthew; KIM, Sangbae. Online trajectory optimization for dynamic aerial motions of a quadruped robot. In: 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2021. p. 7693-7699.

[54] PARK, Hae-Won; WENSING, Patrick M.; KIM, Sangbae. Jumping over obstacles with MIT Cheetah 2. Robotics and Autonomous Systems, 2021, 136: 103703.

[55] SONG, Zhitao, et al. An optimal motion planning framework for quadruped jumping. In: 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2022. p. 11366-11373.

[56] JEON, Se Hwan; KIM, Sangbae; KIM, Donghyun. Online optimal landing control of the mit mini cheetah. In: 2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2022. p. 178-184.

[57] SHANKAR, Krishna; BURDICK, Joel W. Kinematics and methods for combined quasi-static stance/reach planning in multi-limbed robots. In: 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2014. p. 2963-2970.

[58] SATZINGER, Brian W., et al. More solutions means more problems: Resolving kinematic redundancy in robot locomotion on complex terrain. In: 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2014. p. 4861-4867.

[59] BYL, Katie; BYL, Marten. Design of fast walking with one-versus two-at-a-time swing leg motions for robosimian. In: 2015 IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA). IEEE, 2015. p. 1-7.

[60] LAU, Chelsea; BYL, Katie. Smooth RRT-connect: An extension of RRT-connect for practical use in robots. In: 2015 IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA). IEEE, 2015. p. 1-7.

[61] BURKHARDT, Matt, et al. Proprioceptive inference for dual-arm grasping of bulky objects using robosimian. In: 2018 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2018. p. 4049-4056.

[62] HUTTER, Marco, et al. Anymal-a highly mobile and dynamic quadrupedal robot. In: 2016 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS). IEEE, 2016. p. 38-44.

[63] GEHRING, Christian, et al. Quadrupedal locomotion using trajectory optimization and hierarchical whole body control. In: 2017 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2017. p. 4788-4794.

[64] Dario, et al. Dynamic locomotion and whole-body control for quadrupedal robots. In: 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017. p. 3359-3365.

[65] HUTTER, Marco, et al. Anymal-toward legged robots for harsh environments. Advanced Robotics, 2017, 31.17: 918-931.

[66] BJELONIC, Marko, et al. Skating with a force controlled quadrupedal robot. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018. p. 7555-7561.

[67] BELLICOSO, C. Dario, et al. Dynamic locomotion through online nonlinear motion optimization for quadrupedal robots. IEEE Robotics and Automation Letters, 2018, 3.3: 2261-2268.

[68] FANKHAUSER, Péter, et al. Robust rough-terrain locomotion with a quadrupedal robot. In: 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2018. p. 5761-5768.

[69] NEUNERT, Michael, et al. Whole-body nonlinear model predictive control through contacts for quadrupeds. IEEE Robotics and Automation Letters, 2018, 3.3: 1458-1465.

[70] GEISERT, Mathieu, et al. Contact planning for the anymal quadruped robot using an acyclic reachability-based planner. In: Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 275-287.

[71] BELLICOSO, C. Dario, et al. Alma-articulated locomotion and manipulation for a torque-controllable robot. In: 2019 International conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2019. p. 8477-8483.

[72] LEE, Joonho; HWANGBO, Jemin; HUTTER, Marco. Robust recovery controller for a quadrupedal robot using deep reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1901.07517, 2019.

[73] DE VIRAGH, Yvain, et al. Trajectory optimization for wheeled-legged quadrupedal robots using linearized zmp constraints. IEEE Robotics and Automation Letters, 2019, 4.2: 1633-1640.

[74] BJELONIC, Marko, et al. Keep rollin' —whole-body motion control and planning for wheeled quadrupedal robots. IEEE Robotics and Automation Letters, 2019, 4.2: 2116-2123.

[75] XIN, Guiyang, et al. An optimization-based locomotion controller for quadruped robots leveraging cartesian impedance control. Frontiers in Robotics and AI, 2020, 7: 48.

[76] VALSECCHI, Giorgio; GRANDIA, Ruben; HUTTER, Marco. Quadrupedal locomotion on uneven terrain with sensorized feet. IEEE Robotics and Automation Letters, 2020, 5.2: 1548-1555.

[77] MEDEIROS, Vivian S., et al. Trajectory optimization for wheeled-legged quadrupedal robots driving in challenging terrain. IEEE Robotics and Automation Letters, 2020, 5.3: 4172-4179.

[78] LEE, Joonho, et al. Learning quadrupedal locomotion over challenging terrain. Science robotics, 2020, 5.47: eabc5986.

[79] MA, Yuntao, et al. Combining learning-based locomotion policy with model-based manipulation for legged mobile manipulators. IEEE Robotics and Automation Letters, 2022, 7.2: 2377-2384.

[80] LU, Guanglin, et al. Whole - body motion planning and control of a quadruped robot for challenging terrain. Journal of Field Robotics, 2023, 40.6: 1657-1677.

[81] ARM, Philip, et al. Pedipulate: Enabling manipulation skills using a quadruped robot's leg. In: 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2024. p. 5717-5723.

[82] HOELLER, David, et al. Anymal parkour: Learning agile navigation for quadrupedal robots. Science Robotics, 2024, 9.88: eadi7566.

[83] SCHEIDEMANN, Carmen, et al. Obstacle-avoidant leader following with a quadruped robot. arXiv preprint arXiv:2410.00572, 2024.

[84] ROTH, Pascal, et al. Learned Perceptive Forward Dynamics Model for Safe and Platform-aware Robotic Navigation. arXiv preprint arXiv:2504.19322, 2025.

[85] KENNEALLY, Gavin; DE, Avik; KODITSCHKEK, Daniel E. Design principles for a family of direct-drive legged robots. IEEE Robotics and Automation Letters, 2016, 1.2: 900-907.

[86] TOPPING, T. Turner; KENNEALLY, Gavin; KODITSCHKEK, Daniel E. Quasi-static and dynamic mismatch for door opening and stair climbing with a legged robot. In: 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2017. p. 1080-1087.

[87] VASILOPOULOS, Vasileios, et al. Sensor-based legged robot homing using range-only target localization. In: 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). IEEE, 2017. p. 2630-2637.

[88] VASILOPOULOS, Vasileios, et al. Sensor-based reactive execution of symbolic rearrangement plans by a legged mobile manipulator. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018. p. 3298-3305.

[89] ROBERTS, Sonia; KODITSCHKEK, Daniel E. Reactive velocity control reduces energetic cost of jumping with a virtual leg spring on simulated granular media. In: 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). IEEE, 2018. p. 1397-1404.

[90] ROBERTS, Sonia; KODITSCHKEK, Daniel E. Mitigating energy loss in a robot hopping on a physically emulated dissipative substrate. In: 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2019. p. 6763-6769.

[91] DE, Avik, et al. Mode-reactive template-based control in planar legged robots. IEEE Access, 2022, 10: 16010-16027.

[92] KOVAL, Anton; KARLSSON, Samuel; NIKOLAKOPOULOS, George. Experimental evaluation of autonomous map-based spot navigation in confined environments. Biomimetic Intelligence and Robotics, 2022, 2.1: 100035.

[93] ZIMMERMANN, Simon; PORANNE, Roi; COROS, Stelian. Go fetch!-dynamic grasps using boston dynamics spot with external robotic arm. In: 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2021. p. 4488-4494.

[94] STANIASZEK, Michal, et al. AutoInspect: Towards Long-Term Autonomous Industrial Inspection. arXiv preprint arXiv:2404.12785, 2024.

[95] BOUMAN, Amanda, et al. Autonomous spot: Long-range autonomous exploration of extreme environments with legged locomotion. In: 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2020. p. 2518-2525.

[96] AGHA, Ali, et al. Nebula: Quest for robotic autonomy in challenging environments; team costar at the darpa subterranean challenge. arXiv preprint arXiv:2103.11470, 2021.

[97] LÉZIART, Pierre-Alexandre, et al. Implementation of a reactive walking controller for the new open-hardware quadruped solo-12. In: 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2021. p. 5007-5013.

[98] CORBÈRES, Thomas, et al. Comparison of predictive controllers for locomotion and balance recovery of quadruped robots. In: 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2021. p. 5021-5027.

[99] ARACTINGI, Michel, et al. Controlling the solo12 quadruped robot with deep reinforcement learning. scientific Reports, 2023, 13.1: 11945.

[100] CHANE-SANE, Elliot, et al. Soloparkour: Constrained reinforcement learning for visual locomotion from privileged experience. In: Conference on Robot Learning. arXiv, 2024.

[101] HIROSE, Shigeo; TAKEUCHI, Hiroki. Study on roller-walk (basic characteristics and its control). In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 1996. p. 3265-3270.

[102] ENDO, Gen; HIROSE, Shigeo. Study on Roller-Walker—System Integration and Basic Experiments—. Journal of the Robotics Society of Japan, 2000, 18.2: 270-277.

[103] ENDO, Gen; HIROSE, Shigeo. Study on Roller-Walker—Multi-mode Steering Control and Self-contained Locomotion—. Journal of the Robotics Society of Japan, 2000, 18.8: 1159-1165.

[104] ENDO, Gen; HIROSE, Shigeo. Study on Roller-Walker—Adaptation of Characteristics of the propulsion by a Leg Trajectory—. Journal of the Robotics Society of Japan, 2008, 26.6: 691-698.

[105] ENDO, Gen; HIROSE, Shigeo. Study on roller-walker-energy efficiency of roller-walk. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2011. p. 5050-5055.

[106] SHEN, Shuan-Yu, et al. Design of a leg-wheel hybrid mobile platform. In: 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2009. p. 4682-4687.

[107] CHEN, Shen-Chiang, et al. Trajectory planning for stair climbing in the leg-wheel hybrid mobile robot quattroped. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2011. p. 1229-1234.

[108] HUANG, Ke Jung, et al. Experimental validation of a leg-wheel hybrid mobile robot Quattroped. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2011. p. 2976-2977.

[109] CHEN, Shen-Chiang, et al. Quattroped: a leg—wheel transformable robot. IEEE/ASME Transactions On Mechatronics, 2013, 19.2: 730-742.

[110] CHEN, Wei-Hsi; LIN, Hung-Sheng; LIN, Pei-Chun. TurboQuad: A leg-wheel transformable robot using bio-inspired control. In: 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2014. p. 2090-2090.

[111] CHEN, Wei-Hsi, et al. TurboQuad: A novel leg—wheel transformable robot with smooth and fast behavioral transitions. IEEE Transactions on Robotics, 2017, 33.5: 1025-1040.

[112] LIN, Hung-Sheng; LIN, Yun-Meng; LIN, Pei-Chun. SLIP-Model-Based Dynamic Motion Transition Between Different Fixed Points in One Stride in a Leg-Wheel Transformable Robot. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2018. p. 2715-2720.

[113] WANG, Ting-Hao; SUNG, Ding-Gong; LIN, Pei-Chun. Terrain classification, navigation, and gait selection in a leg-wheel transformable robot by using environmental RGBD information. In: 2018 International Automatic Control Conference (CACs). IEEE, 2018. p. 1-1.

[114] RODEHUTSKORS, Tobias; SCHWARZ, Max; BEHNKE, Sven. Intuitive bimanual telemanipulation under communication restrictions by immersive 3D visualization and motion tracking. In: 2015 IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids). IEEE, 2015. p. 276-283.

[115] SCHWARZ, Max, et al. Hybrid driving-stepping locomotion with the wheeled-legged robot Momaro. In: 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2016. p. 5589-5595.

[116] PAVLICHENKO, Dmytro; BEHNKE, Sven. Efficient stochastic multicriteria arm trajectory optimization. In: 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017. p. 4018-4025.

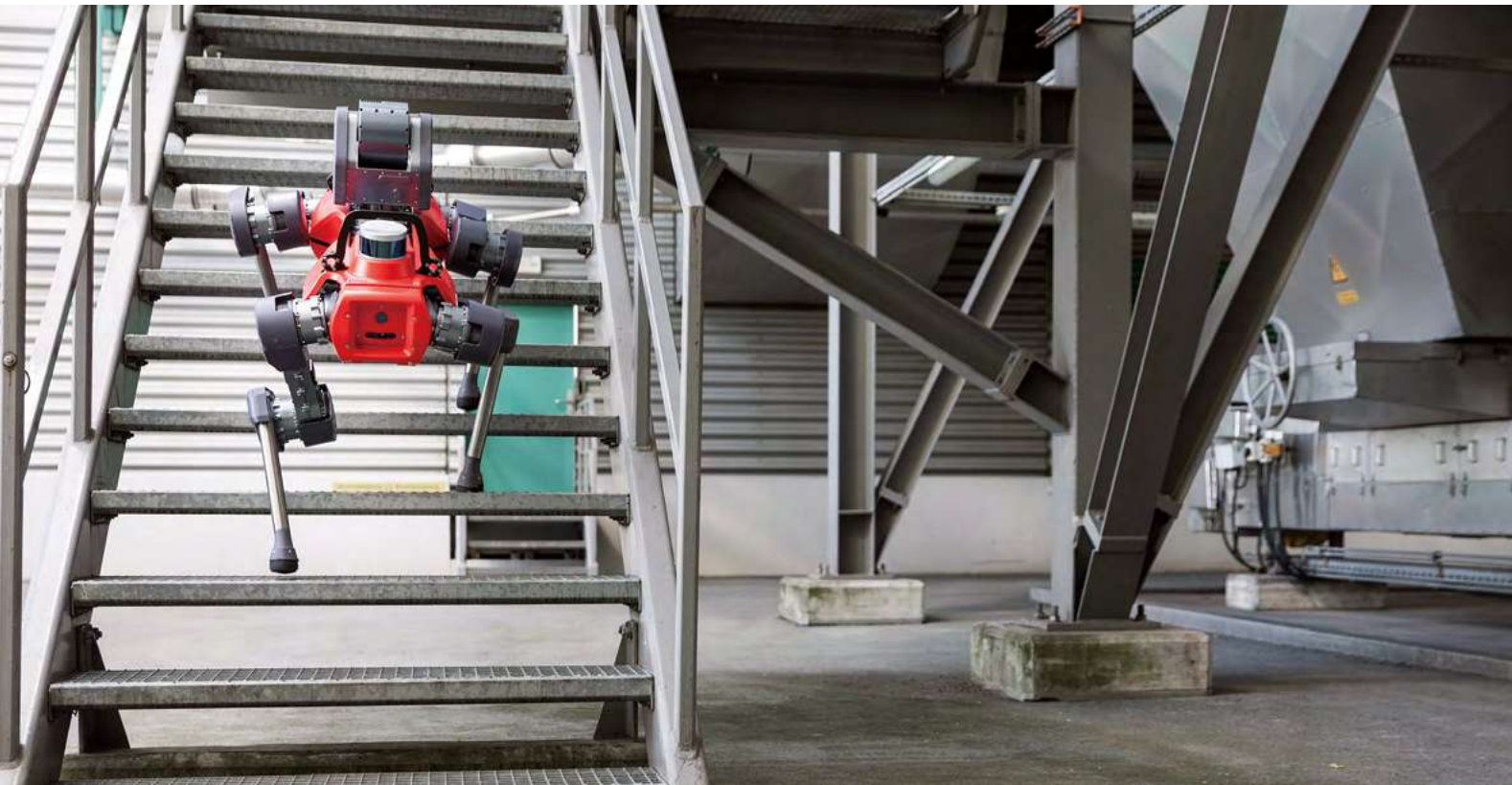
[117] KLAMT, Tobias; BEHNKE, Sven. Anytime hybrid driving-stepping locomotion planning. In: 2017 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS). IEEE, 2017. p. 4444-4451.

[118] KLAMT, Tobias; BEHNKE, Sven. Planning hybrid driving-stepping locomotion on multiple levels of abstraction. In: 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2018. p. 1695-1702.

[119] DE VIRAGH, Yvain, et al. Trajectory optimization for wheeled-legged quadrupedal robots using linearized zmp constraints. IEEE Robotics and Automation Letters, 2019, 4.2: 1633-1640.

[120] BJELONIC, Marko, et al. Keep rollin' —whole-body motion control and planning for wheeled quadrupedal robots. IEEE Robotics and Automation Letters, 2019, 4.2: 2116-2123.

[121] Rolling in the deep—hybrid locomotion for wheeled-legged robots using online trajectory optimization. IEEE Robotics and Automation Letters, 2020, 5.2: 3626-3633.



The Autonomous Workforce Revolution: How ANYbotics is Transforming Industrial Inspections with Legged Robot

Anybotics AG 是一家總部位於瑞士蘇黎世的先進機器人技術公司，源自於蘇黎世聯邦理工學院（ETH Zurich）。公司專注於開發自主四足機器人平台，致力於提供工業檢測與巡檢的解決方案。

Anybotics

▼ Introduction: The Dawn of a New Industrial Era

In the evolving landscape of industrial automation, a quiet revolution is underway – one that promises to redefine hazardous inspections, predictive maintenance, and asset management. At the forefront of this transformation stands ANYbotics, a Swiss robotics pioneer with over a decade dedicated to perfecting the fusion of advanced mobility and artificial intelligence. The journey, which began in 2009 with visionary roboticists from ETH Zurich, has culminated in the creation of ANYmal – a quadrupedal robot that not only mimics biological movement but fundamentally enhances industrial operations.

The global industrial sector faces persistent challenges: aging infrastructure, skilled labor shortages, and the ever-present need to balance productivity with worker safety. Traditional solutions, from stationary sensors to manual inspections, have proven inadequate, often leaving critical gaps in data quality and operational visibility. This is where legged robotics enters the equation, offering unprecedented access to complex environments while delivering superior data consistency.

What makes ANYmal truly revolutionary isn't merely its ability to traverse terrains inaccessible to wheeled robots. It's the complete reimaging of industrial workflows – a seamless integration of rugged hardware, intelligent software, and actionable data insights that together form what we call the "autonomous workforce."

▼ The ANYmal Advantage: Beyond Mobility

A New Paradigm in Industrial Inspections

ANYmal represents a technology leap in inspection technology, combining three critical capabilities that set it apart from conventional methods:

• Unmatched Mobility in Complex Terrain:

Unlike drones with limited flight time or wheeled robots constrained by flat surfaces, ANYmal's quadrupedal design allows it to traverse uneven surfaces, climb grated stairs and recover from slips – all while maintaining reliability in dynamic industrial environments. This is made possible through sophisticated actuation systems featuring high-torque electric motors with harmonic drive gearing, providing both the power and precision needed for demanding industrial applications.

• **Multimodal Sensory Perception:** The robot's comprehensive sensor suite "reads" the industrial environment like a seasoned technician. High-resolution visual cameras document asset conditions, while thermal imaging detects overheating components with high sensitivity. Acoustic sensors identify abnormal vibrations in rotating equipment, and integrated gas detectors pinpoint leaks. Simultaneously, LiDAR and depth cameras build centimeter-accurate 3D maps for navigation and digital twin updates.

• **Continuous Data Intelligence:** Every inspection generates terabytes of contextualized data – not just raw measurements, but timestamped, geotagged insights correlated across sensory modalities. ANYbotics' proprietary algorithms perform onboard anomaly detection, flagging issues like bearing wear or insulation degradation before they escalate.

▼ The Data Value Chain: From Collection to Action

The true measure of ANYmal's impact lies in how it transforms raw data into actionable operational decisions. Consider a typical deployment at a refinery, steelmaking, or cement plant: ANYmal conducts inspection rounds, checking pumps and motors, measuring temperature profiles, verifying valve positions, and sniffing for hydrocarbon leaks. Its IP67-rated body operates flawlessly in rain or dusty environments.

These findings automatically populate the Data Navigator platform, where maintenance teams see not just the alert but also historical trends illustrating the issue's progression. This end-to-end workflow – from detection to resolution – typically reduces equipment

downtime by up to 5% compared to manual methods, as demonstrated in deployments with companies like Outokumpu, Grace, and Titan Cement.

▼ The AI Brain: Software That Learns

At the core of ANYmal's autonomy lies a hierarchical control architecture:

- **Locomotion Layer:** Model-predictive controllers adjust gait parameters 500 times per second, optimizing for energy efficiency on flat terrain or maximum stability on rubble. Reinforcement learning has trained the system to recover from slips with animal-like reflexes, enhancing its robustness.
- **Navigation Stack:** Our hybrid Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) approach fuses LiDAR, for reliable positioning in challenging, featureless environments like tunnels. The system maintains less than 1% drift over kilometer-scale missions.
- **Inspection Intelligence:** Deep learning models, trained on millions of industrial asset images, can now read analog gauges, and measure temperature from focal point in a thermography. This intelligent interpretation reduces human error and accelerates decision-making.

▼ Proven Impact Across Industries

The results speak for themselves. ANYmal has been successfully deployed across the Oil & Gas, Chemical, Power & Utilities, and Metal & Mining & Mineral industries by leaders such as BP, Shell, Outokumpu, Novelis, and Siemens Energy. These deployments deliver measurable improvements in safety, inspection quality, and

operational efficiency. By removing personnel from hazardous environments and providing superior data insights, ANYbotics' solution is setting new standards for industrial inspections.

Case Study: Revolutionizing Chemical Plant Inspections at Grace



W.R. Grace's Düren chemical plant in Germany operates 24/7 with zero tolerance for unplanned downtime. Traditional inspections – manual rounds and fixed sensors – left gaps in data quality and failed to fully digitize maintenance workflows.

- **1.5% Increase in Plant Uptime Annually:** Attributed to early anomaly detection (e.g., identifying a pump misalignment before failure), directly impacting operational efficiency.
- **Seamless Integration:** Data feeds directly into Grace's existing maintenance protocols, enabling truly preventive and proactive actions.
- **Easy of Use:** ANYmal autonomously navigates 300-meter routes, crossing occupational traffic and stairs without requiring any infrastructure changes, demonstrating its adaptability and ease of deployment.

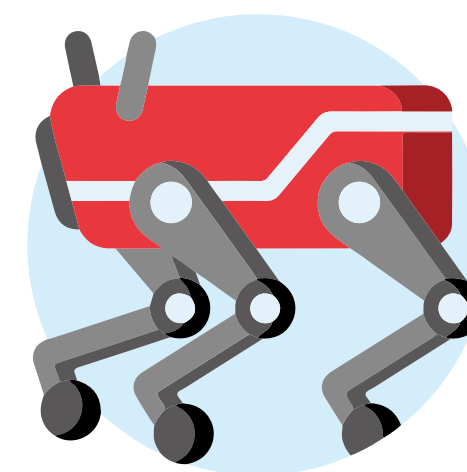


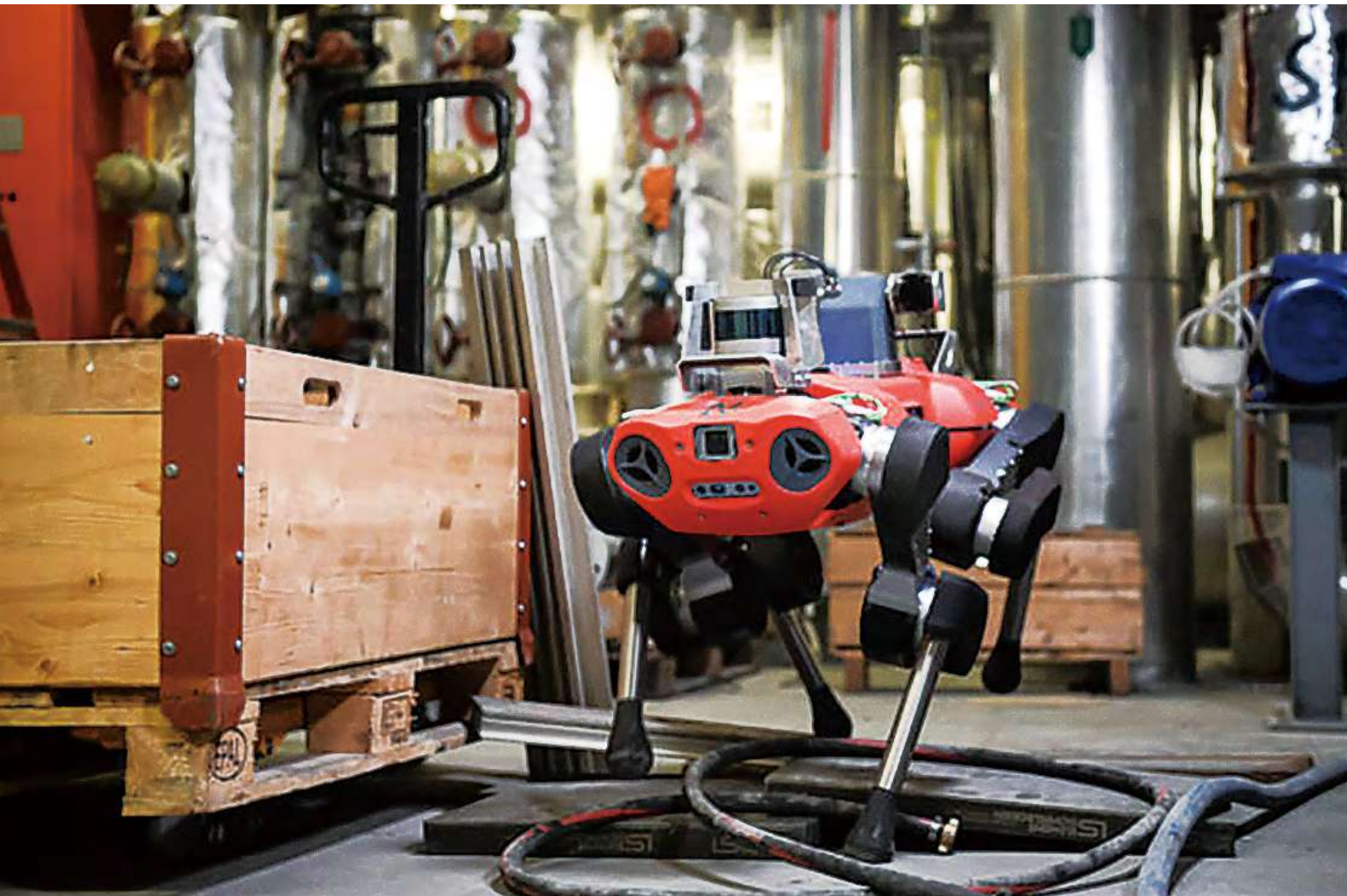
▼ The Future: Where We're Heading

Looking ahead, ANYbotics continues to push boundaries. With the development of ATEX-certified ANYmal X for explosive environments and ongoing advancements in AI and sensor capabilities, the vision is clear: to create not just individual robots, but an entirely new category of autonomous workforce that makes industrial operations safer, smarter, and more efficient. Conclusion: Redefining Industrial Possibilities

The rise of legged robotics marks more than a technological evolution; it represents a fundamental shift in how industry approaches operational challenges. ANYbotics has moved beyond proving that quadruped robots can work in industrial settings; we are now demonstrating how they can outperform traditional methods in safety, efficiency, and data quality.

As we stand at this inflection point, forward-looking organizations have a clear choice: continue relying on legacy approaches with their inherent limitations, or embrace the autonomous workforce revolution. For those ready to lead rather than follow, ANYmal offers not just a tool, but a transformation – one walking step at a time.





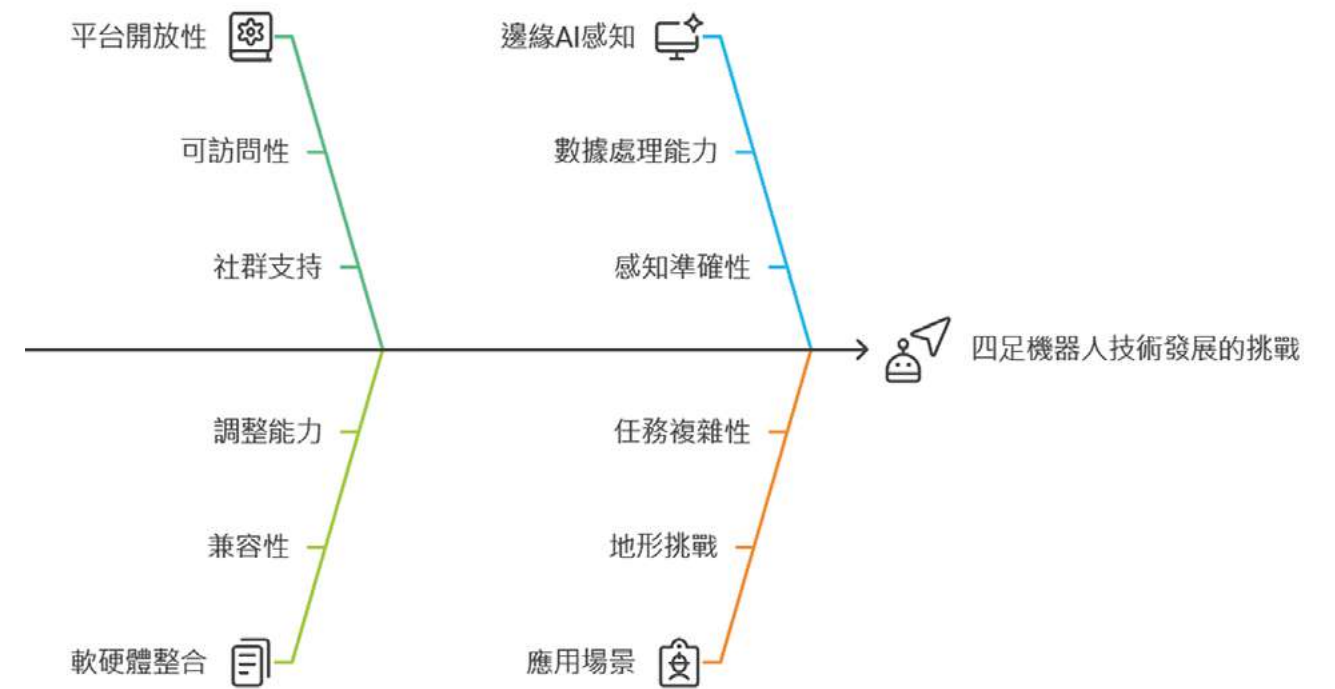
四足機器人發展趨勢與系統整合觀點之研析

隨著全球機器人技術的持續演進，四足機器人（Quadruped Robot）作為其中一類高度仿生且具環境適應能力的自主移動載具，漸從學術研究走入實務應用場景。從高機動巡檢、遠距監控、工安巡檢、到災後搜救等高風險環境的任務執行，四足機器人不僅展現了對地形的適應性與穿越能力，特別針對危險及困難的工作，逐步成為工業與公共領域中「補足而非單純替代人力」的關鍵角色。

然而，對應開發者與系統整合者而言，四足機器人技術發展的真正瓶頸，往往不在運動控制本身，而在於平台的開放程度、軟硬體整合彈性與邊緣 AI 感知能力的強弱。本文將從產業應用觀點出發，探討目前市面上主流四足機器人平台的技術特性，並針對其開發工具與系統整合友善程度進行橫向比較。

文 | 台灣智能機器人科技總經理 | 黃國聰
台灣智能機器人機器人事業處處長 | 李政育

分析四足機器人技術發展的挑戰



▼一、跨場景應用的技術分歧與需求趨同

當前四足機器人的應用需求雖橫跨安全防護、能源、製造、軍警、救災、智慧城市等多元場域，但觀察其在任務執行層面，多聚焦於以下共通能力的滿足：

- 高機動性步態與地形適應能力
- 多模態感測整合（可見光、熱成像、LiDAR、超音波）
- 遠距通訊與自主導航
- 模組化擴充與即時資料串流能力



對應此一應用需求，四足機器人的平台選擇標準也逐步轉向開發端的「工具完整性」與「生態系整合彈性」作為核心判斷依據，而非單純以載重或續航等硬體性能為主。

▼二、主要四足機器人平台開發整合比較

四足機器人（Quadruped Robots）在近年來已成為機器人領域的重要研究方向。這些機器人以其靈活的運動能力和適應多樣地形的特性，廣泛應用於軍事、救援、物流等領域。目前，全球有眾多研究團隊和公司致力於四足機器人的開發，這些機器人以其獨特的運動能力和廣泛的應用前景，成為機器人技術發展的重要方向。



波士頓動力公司（Boston Dynamics）Spot 四足機器人



ANYbotics 的 ANYmal 四足機器人



宇樹科技（Unitree Robotics）的 Go2 四足機器人



RIVR Robot 的 Milo 四足機器人

如 (1) **波士頓動力公司（Boston Dynamics）**：高靈活性和穩定性著稱 Spot 的機器人，能在各種地形上行走，並執行巡邏、檢測等任務；(2) **麻省理工學院（MIT）**：Cheetah 系列四足機器人以高速奔跑和跳躍仿生能力聞名；(3) **加州大學伯克萊分校（UC Berkeley）**：Mini Cheetah 機器人是小型、輕量化的四足機器人，具靈活的運動能力和高效的動力系統；(4) **宇樹科技（Unitree Robotics）**：四足機器人以高性價比和開源特性受到關注，廣泛應用於教育和研究領域；(5) **Ghost Robotics** 的 Vision 系列四足機器人，主要應用於軍事和工業領域，具有高度的模組化設計和強大的

環境適應能力。(6) **蘇黎世聯邦理工學院（ETH Zurich）**：衍生新創公司 ANYbotics 的 ANYmal 四足機器人專為工業檢測和監測任務設計，具備高度的自主性和環境感知能力。(7) **韓國高等科學技術研究院（KAIST）**：RaiBo 四足機器人能在崎嶇地形上穩定行走，展示了優越的運動控制技術。(8) **史丹佛大學（Stanford）**：Doggo 四足機器人為開源設計，降低四足機器人的開發門檻，促進該領域的研究和教育。

以下以 Boston Dynamics、ANYbotics、Unitree Robotics 及 Ghost Robotics 等商業主流平台為例，從開發者與系統整合者角度分析其平台特性：

廠商	Boston Dynamics	ANYbotics	Unitree Robot	Ghost Robotics
外觀				
型號	Spot	ANYmal	Go2	Vision
SDK 語言支援	Python	C++ / Python	C++ / Python	C++ / Python (合作開放)
文件與開發資源完整性	高 (結構化清晰、 案例豐富)	高 (技術白皮書與 模擬工具完備)	中 (初階入門友善， 範例完整)	低 (需官方合作獲取)
硬體感測模組彈性	可搭載多種攝像、 雷達、熱感模組	預設支援熱成像與 3D 雷達	可選配超音波與雷 達模組	強調軍規等級模組 整合能力
第三方整合彈性	支援 REST API 與 第三方擴充	ROS 與 REST API 整合佳	SDK 開放、支援客 製通訊協定	高度模組化，支援 全自訂
特色優勢	穩定性高，應用場 域廣，可部署多充 電站	適用工業環境巡 檢，具高防護等級 與腳部力量感測	價格具競爭力，開 源資源多，適合原 型與教育場域	適用國防與戶外高 風險場域，負載力 與續航穩定性高
限制說明	SDK 偏重 Python，開源程 度有限	商業模式偏向整套 系統導入，客製彈 性相對有限	文件技術深度略顯 不足，需自行補強 中高階整合能力	公開資源稀少，開 發門檻與進入門檻 較高

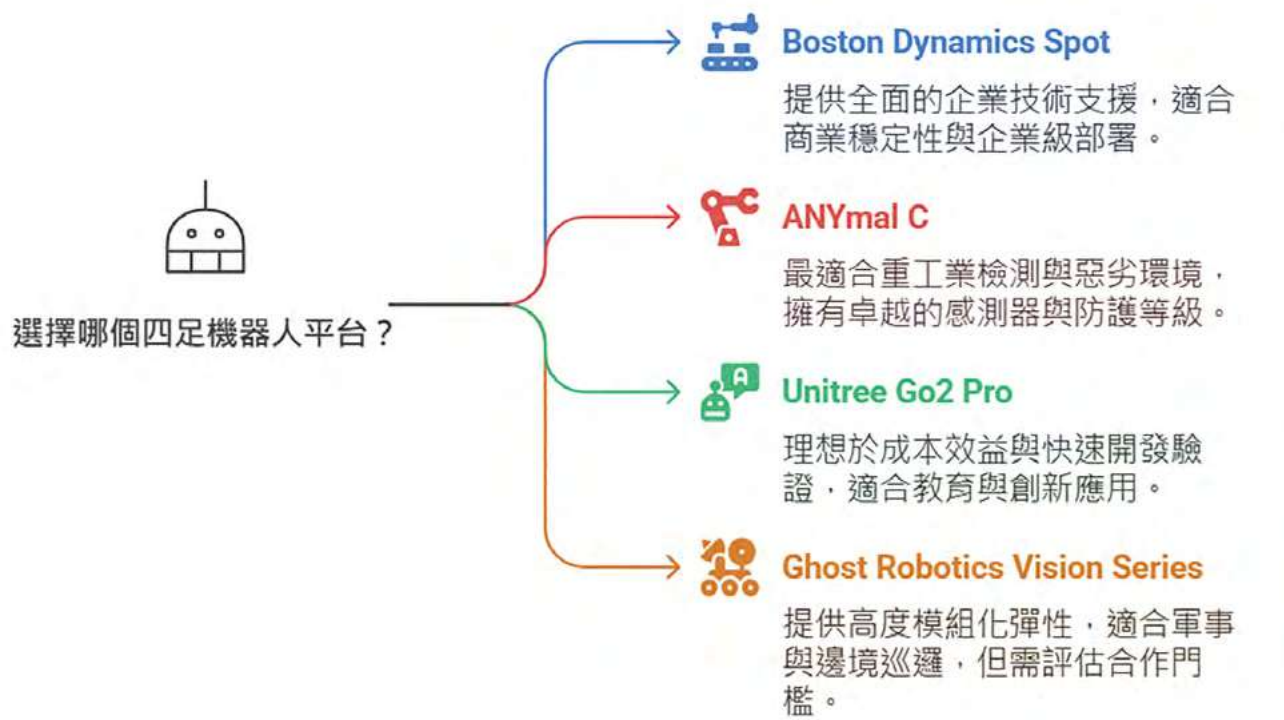
▼ 三、開發與整合觀點下的選型建議

從開發者與整合端的角度觀察，選擇四足機器人平台應依據「目標應用場景 × 二次開發彈性 × 系統總整合成本」三面向評估。

- 若重視商業穩定性與企業級部署，Boston Dynamics Spot 具備最完整的生態與企業技術支援。
- 若任務場景偏向重工業檢測與惡劣環境適應，ANYmal C/ X 提供最佳感測組合與高防護等級。
- 若重視成本控管與快速開發驗證，Unitree Go2 Pro 是教育、創新應用與輕量型任務的理想平台。
- 若任務涉及軍用、邊境巡邏或高載重需求，Ghost Robotics Vision 系列 具高度模組化彈性但須評估合作門檻。

此外，從整合維運成本（Total Cost of Ownership, TCO）與壽期效益（Life-Cycle Costing, LCC）觀點出發，也須同時考量以下配套層面：

- 電池可更換性與自動充電部署能力
- 感測模組與資料串流平台（如 NVIDIA Omniverse/Isaac）對接能力
- OTA 遠端軟體更新與數據安全性機制



▼ 四、國內應用發展的觀察與策略建議

在服務型機器人蓬勃發展的大趨勢下，四足平台因具地形適應與高機動特性，在災防、工安、能源巡檢與國防應用上已逐漸顯現潛力。然而，臺灣產業界若欲推動該類型平台導入，宜注意以下幾點：

1. 不宜僅以單一產品規格導向選型，而應建立跨功能性需求矩陣（如熱成像 + 空氣品質偵測 + 語音警示），以需求導向作為選型之前提。
2. 政府先導應用可扮演重要角色，以政策工具導引（類似公共藝術設置法）於災防或關鍵基礎設施導入在地系統。
3. 扶植本土技術整合商形成二次開發群體，聚焦感測模組整合、任務腳本編排、數據平台後端等價值層級。
4. 強化跨平台模擬與仿真（Sim2Real）驗證能力，特別應結合如 NVIDIA Omniverse、Isaac Sim 等平台，降低實測風險與提升部署效率。

▼ 五、Nvidia 的整合開發環境加速四足機器人運用生成式 AI

在 2025 年 Nvidia GTC 大會上 RIVR Robot 展示了令人驚艷。不可忽視的是，RIVR 在與 NVIDIA 生態系統的深度整合上展現出關鍵優勢。其四足機器人平台不僅已完整對接 Omniverse 與 Isaac Sim 模擬環境，使開發者能在高擬真虛擬場域中進行快速驗證與部署，更透過 Cosmos 生成式 AI 平台，強化機器人行為模型的資料訓練效率與準確性。RIVR 於

NVIDIA 年度開發者大會中顯示其技術與市場策略皆與全球 AI 及仿真巨頭緊密連結，此舉大幅提升其系統開發深度與國際能見度，對於日後大規模應用整合與模組化部署，極具指標性意義。主要在三方面展現出明顯優勢：

1. 其機器人模型已成功導入 Omniverse 與 Isaac Sim 模擬平台，開發者可在高擬真虛擬環境中加速學習與部署流程；
2. 其次，透過 NVIDIA Cosmos 生成式 AI 平台，RIVR 能快速建立具物理邏輯的訓練資料，有效優化行為模型；
3. RIVR 於 NVIDIA 開發者大會亮相，凸顯雙方技術與市場策略的深度協同，進一步強化其平台競爭力。

▼ 六、Kawasaki CORLEO：開啟四足機器人應用邊界的新篇章

四足機器人發展本文撰寫期間，適逢在 2025 年大阪關西博覽會上，川崎重工 Kawasaki 發表了四足騎乘型機器人 CORLEO，以氫燃料驅動的仿生機構搭配重心控制介面，展現其作為未來個人交通工具的創新潛力。與 Boston Dynamics 的 Spot、ANYbotics 的 ANYmal、Unitree 的 Go2 等現有四足平台相比，CORLEO 並非針對工業巡檢任務而設計，而是拓展至人機互動與個人移動領域的探索性產品。

儘管目前仍處概念階段，但 CORLEO 採用摩托車常見的搖臂避震系統，結合四條獨立可操作的機械腿，大幅提升其在崎嶇地形中的穩定性與適應性。動力來源為 150cc 氫氣發



動機驅動電力系統，實現清潔能源下的越野移動應用。操控方面，CORLEO 捨棄傳統控制器，改以重心轉移控制步態，並透過 HUD 顯示器提供氫氣餘量、導航與運動穩定性等即時資訊。若未來導入自主導航與感測模組，CORLEO 具備發展為大型戶外巡邏、農林地應用或智慧移動輔具等新場域平台的潛力。然而，相較於已具備成熟技術堆疊與商業化部署經驗的主流工業四足機器人，CORLEO 短期內難以直接取代既有系統，更可能成為推動四足機器人應用場景多元化的關鍵驅動者。

▼ 結語

四足機器人非單一機構產品，而是一個高度系統化與多元任務導向的機器人子領域。其市場與應用潛能固然龐大，然技術與商業成熟度亦需務實評估。對於國內業者而言，若能從「平台導入 × 應用深化 × 生態整合」三面發展，並規劃以本土需求為核心的應用樣態，有機會在下一波服務型機器人發展浪潮中，站穩一席之地。

TAICA

台灣智動化檢測驗證聯盟



加入聯盟

活動消息

Taiwan Automation Intelligence Certification Alliance

聯盟簡介 About Us

為建立一個智慧自動化安全管理機制宣傳之平台，本聯盟於 2022 年組成，整合並串聯自動化設備之製造、進口、系統整合、使用者、檢測驗證等產學研單位，加速擴大宣傳標準及檢測驗證之重要性，提升臺灣智慧自動化與機器人產業競爭力。

成立目的 Our Mission



協助臺灣廠商



推廣標準重要性



建立交流平台



促進智動產業發展

聯盟服務 Our Services

01 蒐集並推廣最新智動產業相關標準

- 推廣協會參與或制定之產業標準
- 國際標準參與並推廣

02 提供產業諮詢管道

- 作為新領域標準諮詢的第一步
- 蒐集並分享相關國際標準最新資訊

03 協助政府推進國內事業單位智慧自動化設備安全衛生提升

- 協助職安署討論工業用機器人源頭管理
- 協助規範場域安全、推動自主管理

04 推動國內外合作需求及檢測驗證媒合

- 協助進行檢測驗證諮詢
- 媒合優良測試實驗室及驗證機構

05 辦理實驗室能力一致性測試

- 提升數據影響報告及證書可信度
- 參考國際做法

06 教育訓練

- 依據業者需求辦理課程
- 專業課程接續顧問服務



人工智慧形態的終點，一定是人形？

隨著物聯網（IoT）技術的飛速發展，我們正處於一場前所未有的技術革命之中。這場革命深刻地改變著各行各業的運作模式，推動著智慧化和高效化的需求以前所未有的速度增長。具體而言，物聯網技術通過將物理設備連接到互聯網，實現了設備之間以及設備與人之間的資料交換和資訊共用，從而打破了傳統的資訊孤島，為各行業帶來了前所未有的發展機遇。

在這樣的背景下，各產業紛紛尋求通過物聯網技術實現業務流程的優化和創新，以應對日益激烈的市場競爭和不斷變化的用戶需求。智慧化和高效化成為了企業追求的核心目標。智慧化意味著利用人工智慧、大資料分析等技術，使設備和系統具備自主感知、學習和決策的能力，從而實現更精准的控制和更高效的運作。高效化則強調通過物聯網技術優化資源配置，減少能源消耗，降低運營成本，提高生產效率，實現可持續發展。

文 | 本末科技有限公司



▼ 剛開始的選擇？

減速器、伺服電機、控制器是機器人傳統三大零部件，尤其電機模組在機器人核心成本中佔據一半以上，為了給機器人減負，本末科技的團隊直接去掉減速器，開始打造了直驅電機系列，讓機器人運行時能夠無噪音、更長壽，刪繁就簡的為智慧型設備提供更好的動力。

憑借著擁有豐富電機模組的技術經驗，我們很快就拓展了第二業務板塊——雙輪足機器人。在機器人行業開始崛起的 2020 年，

許多初創團隊都選擇了人形機器人形態，因為它外觀結構更接近人體，方便做不同的習慣開發，並且符合市場青睞，更能吸引資本的目光。當時本末科技的創始團隊花了將近半年的时间，從市場需求、投入產出及更易落地應用性等三個方面不斷探究思考，最終決定以「室內外場景高通過性」的輪足機器人形態問世。

2021 年我們發佈了全球首款直驅自平衡輪足式機器人「刑天」（Diablo），兼顧足式機器人的靈巧與輪式機器人的穩健迅捷；2023 年，更是推出具備熱拔插電池技術，更高自由度以及 API 接口統一的第二代輪足機器人「TITA」。

從科研開發、工業巡檢、娛樂拍攝再到居家應用，我們的團隊專精打造各類場景解決方案的載體底盤，與不同廠商、研究所的方案系統共同運作時，能夠更好的配合解決方案遊走不同地形，二次開發等協助工作。



▼技術核心優勢

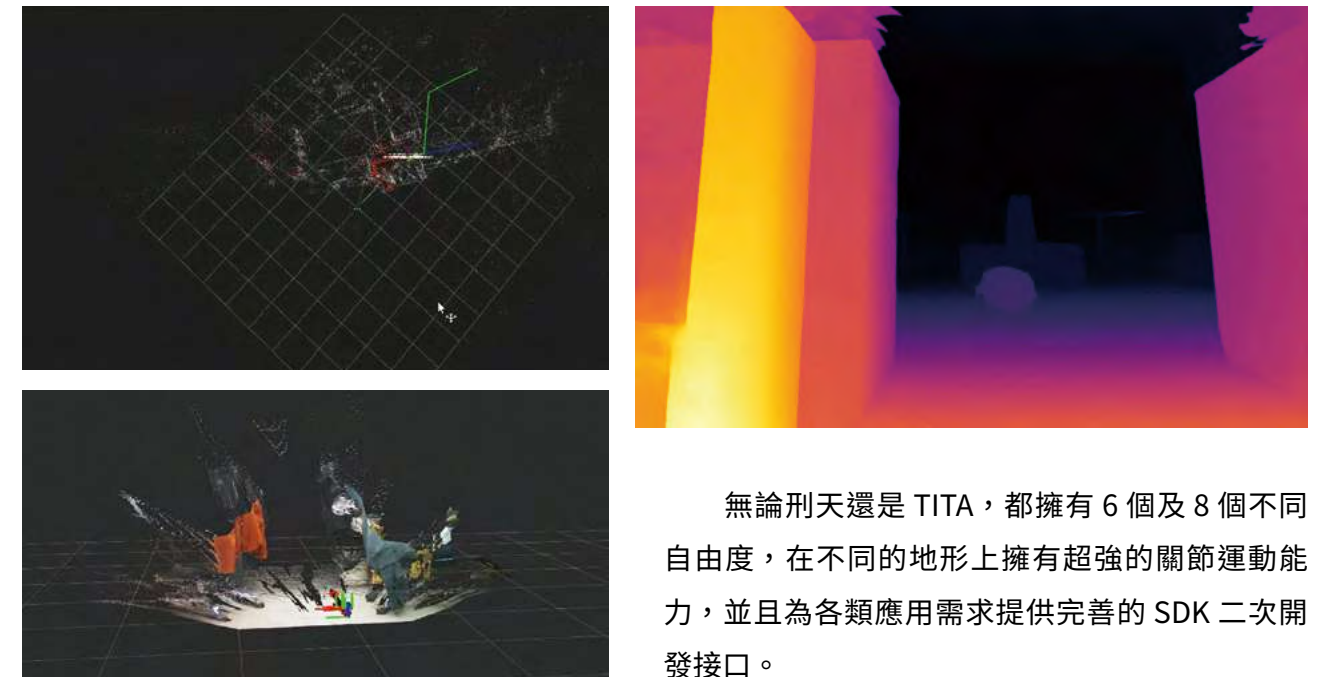
我們的兩大核心業務——核心部件（電機）及機器人，其核心競爭力建立於自主研發團隊及自有製造產業鏈板塊做更好的迭代升級及成本把控支撐。

1. 電機 1 台起定製化

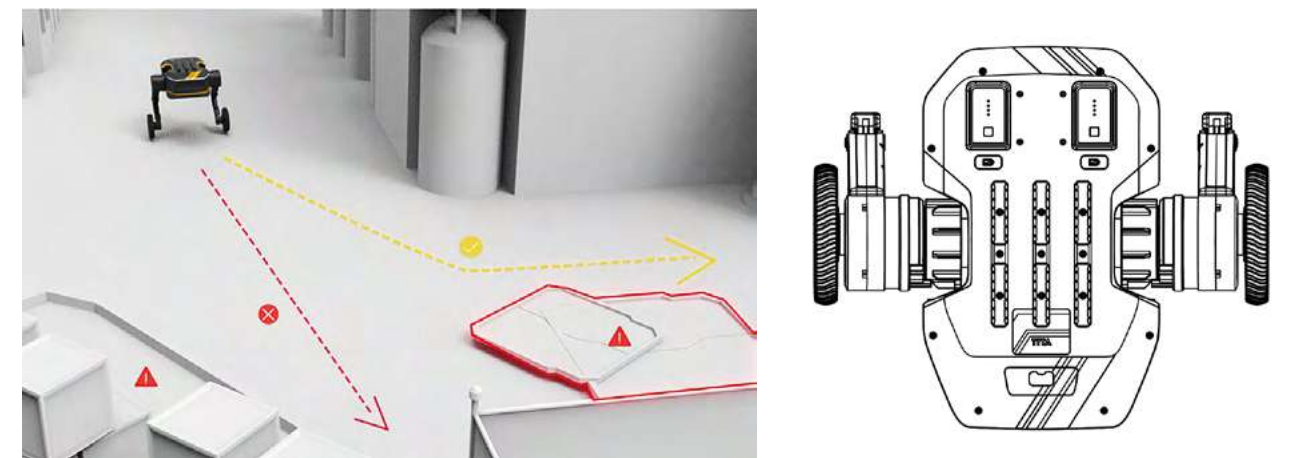


配合現在多類行業需求，我們擁有嚴謹快速的打樣交付 SOP，從硅鋼加工，繞線工藝再到算法開發，每一個細節都能隨時做好對應不同終端產品的需求評估，以及在樣品設計時，可提供不同概念上的商討方案。同理應用於我們的輪足機器人，電機的定製化，能夠對應不同場景需求的客戶做更好的需求設計。

2. 二次開發首選



3. 更好的開發利用率



讓需求模塊模組化，輕鬆組合的設計使得方案設計變得更加高效，輪式機器人底盤設計周期可縮短至少 20%，應對各類複雜需求的挑戰，企業在研發時間上可以更為從容。

4. 專業的技術團隊及背書

本末科技創始人兼 CEO——張笛先生，師承大疆創始人——李澤湘教授，並畢業於香港科技大學；其核心研發團隊主要來自香港科技大學、北京理工大學、浙江大學、大疆、IBM 等知名學院人士及名企專家；公司專利超過 240 多項，擁有獨立的 IQC 品控中心，斬獲日內瓦國際發明展覽會金獎、亞洲發明展覽會金獎及 Dare To Change Business Pitch Competition 金獎等獎項；專業的團隊及背書只為能夠對客戶提供更符合市場狀況、更加專業落地性的人工智慧方案。



▼ 策略式結構



1. 刑天

刑天定位為高運動性能底盤的輪足機器人，客戶群體一般針對院校、實驗室教授、學生做各種科研開發使用。

1.1 高靈活結構：「刑天」擁有 6 自由度（DOF）的構型，能夠做到跳躍、連續跳躍、滑步等動作。

1.2 負重考量：刑天底部擁有輔助輪，在匍匐狀態下最高負重可達 80kg，站立運行時負重位 4kg；另外刑天在最快速度（2m/s）的模式下拖拉板車，最高可拖動重量為 300kg。

1.3 自平衡設計：「刑天」的自平衡控制演算法是其核心技術之一。該演算法融合了慣性測量單元（IMU）和力矩感測器的資料，實現了機器人在動態環境下的穩定運動和姿態控制。在正負

30 度內的斜坡上行駛，刑天能夠在非控制情況下能自動停止，避免運行時因路段傾斜導致失控衝擊。並且遇到不同的踹、打、推、擠，機身都能保持平衡狀態，即便最終失位，也能立即導正方向。

1.4 靜音運行：運行噪音 < 49db，近乎靜音，讓刑天能夠在更多噪音敏感的應用場景中工作。

1.5 更長壽命：「刑天」使用直驅電機作為驅動單元，這種設計減少了傳動機構的損耗和間隙，除了提高了控制精度和響應速度外，還提供了整體機器人的使用壽命。



2.TITA

TITA 定位為高垂類應用的輪足機器人，客戶群體一般針對工業園區、井下產業、化工等企業做巡檢應用。

2.1 可無間斷供電：TITA 採用熱插拔電池技術，能夠隨時更換電池，運行不斷電；TITA 機身電池倉能裝載 2 塊電池，每塊電池擁有 1 小時的續航能力，並且還能選用升級的 T 型電池，續航時長直接翻一倍。

2.2 更方便二次開發：支持 API 統一接口鏈入，相當於機械臂、導航塔等解決方案載體只需與 TITA 做外接接口插入，無需內嵌；提供 SDK 開源，內置工業相機、傳感器及喇叭，為客戶提供更多需要圖傳、感知、視覺及聲控訂製等開發條件。

2.3 保護機製：TITA 採用超級電容，即便突然斷電，機身也不會瞬間停止運作，而是緩衝慢慢落下的姿態，避免敲擊地面，保護客戶場景地面和減少機器人損耗。

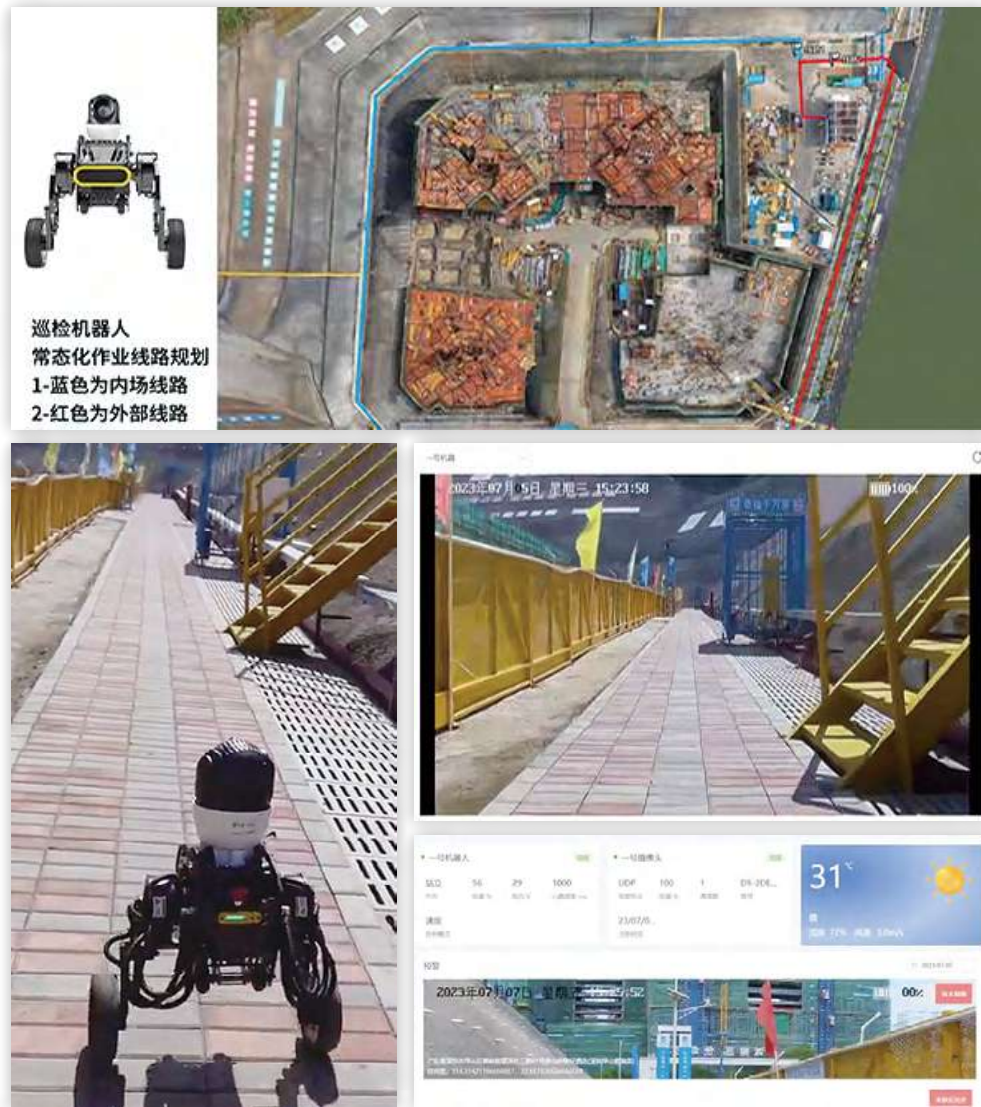
2.4 配件多樣化：TITA 支持多種擴展配件，例如用於測繪建圖的 Tower 導航塔，以及用於提高越障能力的加大輪轂，都能夠按照客戶需求做不同的訂製搭配。

2.5 自由組合拆分：面對不同的台階地形，TITA 可以做串聯組合，將 2 台 TITA 合體後能夠變成四輪足 TITATIT。負重從原本的單個 TITA 10kg 變成可負載 30 ~ 35kg，翻倍運行穩定性及平衡性，可為不同特殊地形應用需求做開發。

▼ 產業應用

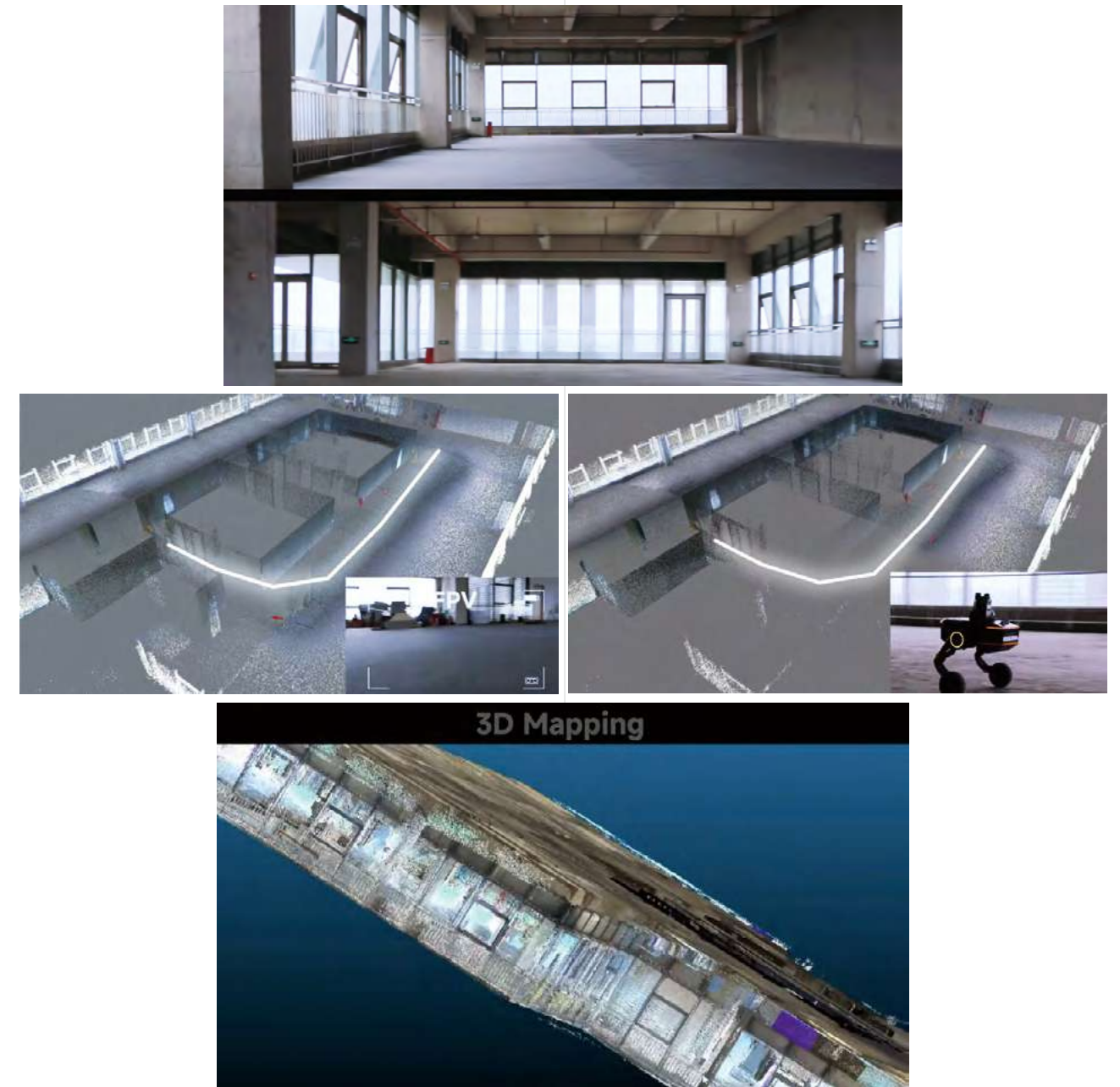
本末科技的輪足機器人技術已在多個產業得到應用，並展示出顯著的優勢。

• 2.1 工業建地巡檢：



- **挑戰：**工業建設場地通常地形複雜，存在落物風險，人員巡檢效率低且安全性難以保障。
- **解決方案：**「刑天」機器人 + 客戶訂製導航塔
- **技術亮點：**利用刑天其隨時切換匍匐／站立雙模式及自平衡設計，它能夠在狹小空間穿梭並通過集成感測器和攝像頭即時採集現場資料，並將其傳輸到控制中心，為遠端監控和決策提供支援。
- **成果：**2024 年，超過 100 台「刑天」機器人被部署於工業建設場地，顯著降低了人員巡檢的安全風險，提高了巡檢效率。

• 2.2 室內建地測繪：



- **挑戰：**室內建築測繪需要高精度的三維建模和多角度資料獲取，傳統的人工測繪方法效率低且成本高。
- **解決方案：**TITA 機器人 + TOWER 導航塔 + 客戶訂製視覺方案
- **技術亮點：**導航塔和透過 RTK 天線及雷射雷達，可以實現精準定位和環境感知；TITA 在地形探索完後，ROS BAG 資料匯出後能夠方便給到客戶三維模型構建及後期處理。
- **進展：**本末科技正與超過 30 家房地產和裝修企業合作，推動輪足機器人技術在建築行業的應用，為建築行業前作業提供更好的資料支援。

• 2.3 園區環衛協助：



○ **挑戰：**園區環衛工作面臨著高齡勞動力和清潔危險區域的難題，傳統的人工清潔方式效率低且安全性難以保障。

○ **解決方案：**TITA+ 客戶自購機械臂

○ **技術亮點：**TITA 機器人組合機械臂，數據打通後，可以協助垃圾撿拾和分類。熱插拔電池保證了機器人的長時間續航能力，遠端監控系統則允許操作人員即時反應現場的工作狀態。

○ **預期：**本末科技的解決方案旨在提高環衛作業的自動化水準，降低對人工的依賴，並提高作業的安全性。

• 2.4 園區短途配送：



○ **挑戰：**園區內的物流配送需要解決室內外協同和即時任務執行的問題。

○ **解決方案：**刑天 + 客戶自研配送模組

○ **技術亮點：**刑天搭配無人機並共同安裝客戶自研模組後，可對手機下單，實現貨物運輸，短途內進一步提高配送效率和覆蓋範圍。

○ **成果：**有 20 家物流企業在找本末尋求方案時，推薦此案例做參考並進行測試。

• 2.5 海邊移動拍攝：



○ **挑戰：**在海邊等複雜環境中進行影視拍攝，並增加煙花現場，需要設備具備良好的抗衝擊能力和運動穩定性。

○ **解決方案：**刑天 + 支架 + 攝影機

○ **技術亮點：**機器人採用高強度材料和穩定的控制演算法，可以適應複雜地形，並為攝影機提供穩定的載平臺。多孔位設計方便了攝影機的安裝和調整。

○ **應用：**該技術已推薦給不同的電視台嘗試應用於山洞、沙灘、煙火等場景的移動拍攝。

• 2.6 居家庭院除草：



○ **挑戰：**傳統的庭院除草方式效率低且勞動強度大，現有的家用除草設備智慧化程度低。

○ **解決方案：**刑天 + 客戶訂製家用除草模組

○ **技術亮點：**機器人開放 SDK 開源，並允許使用者集成各種除草模組，實現自動化除草。

○ **展望：**該技術有望擴展到掃地、看護等家庭服務領域。

• 2.7 戶外巡檢：



○ **挑戰：**有碎石、水窪、陡坡等戶外場景的巡檢需要機器人具備快速移動和越障能力，以提高巡檢效率。

○ **解決方案：**TITA+ 大輪轂配件

○ **技術亮點：**快拆快裝模式，讓機器人能隨時變換輪足配件及安裝大輪轂；大輪轂可提高移動速度和越障能力，並無視大多 10cm 以下的陡坡、碎石等複雜地形。

○ **市場：**超過 20 家企業訂製了 TITA 大輪轂巡檢模組做更多的室外巡檢應用。

• 2.8 樓梯步道巡檢：



- **挑戰：**樓梯和步道巡檢需要機器人具備穩定的爬樓梯能力、良好的通過性以及負載解決方案的負重能力。
- **解決方案：**將兩台「TITA」機器人組成四輪足模式。
- **技術亮點：**可以提高機器人的穩定性和最高負載 35kg 能力，使其能夠安全地爬樓梯和通過障礙物。
- **未來：**讓更多機器人串聯，負重更強，爬坡力更好。

▼ **結語：**人工智慧的落地，可以有更多形態的選擇。

本末科技借由成熟的電機技術再到刑天與 TITA 兩款機器人平台，成功將輪足機器人從性能展示推向產業應用，涵蓋工業巡檢、物流配送、建築測繪和家庭應用等多個領域。通過 SDK 開源、模組化設計與靈活適配場景，本末科技正一步步落實「讓機器人走進千家萬戶」的願景。

下一階段，本末科技將持續推進開放生態系統整合與遠端控制技術，打造更智慧、靈活與普及的機器人應用平台。





工業電腦為 AI 機器人運算平台創造的競爭優勢

文 | 超恩股份有限公司

物聯網的概念在 1999 年被提出後，相關技術與應用在近 10 年以飛快的速度被實現在你我生活之中，尤其是歷經新冠疫情期間的封鎖隔離、部分解封、逐步開放到完全復甦，許多自動化應用與方案的雛型在人類求生意志的驅動之下得以實現，加速了邊緣人工智慧（Edge AI）落地的腳步。近年來已開發國家面對少子化和缺工的趨勢，利用 AI 和自動化機器人來改善人類的工作和生活，不但成為一門顯學，更是世界各國的重要戰略目標，期許用這個先進技術強化國家與社會的自我防護能力。

▼ AI 機器人引爆第 5 波工業革命 預估 10 年市場規模增長 7 倍

2024 年 10 月 29 日，特斯拉汽車執行長馬斯克（Elon Musk）在沙烏地阿拉伯首都利雅德舉行的第八屆未來投資倡議大會（FII8 Conference）的發言中預測，到 2040 年以前，將會有比地球人口還要多的 100 億台人形機器人，充斥在我們的日常生活和各個產業領域裡，徹底改變人類的工作和生活形態。

2024 年 12 月 16 日，台積電董事長暨總裁魏哲家在行政院第 12 次全國科學技術會議上引言指出，多功能機器人及無人機，將是台灣在 AI 大趨勢下的兩大機會，因為台灣在晶片製造和精密機械方面具備既有優勢、有相關硬體廠商，也有應用場景。

NVIDIA 執行長黃仁勳在 2025 年 3 月 18 日的 NVIDIA GTC 大會上介紹輝達的第一台人

形機器人 Blue，同時也是全球第一台採用開源模型的機器人，正式宣告通用機器人的時代已經來臨，並認為五年之內人形機器人將隨處可見。

根據 2024 年市場研究機構 Precedence Research 發布的報告，全球 AI 機器人 2023 年的市場規模是 143 億美元，預估 2033 年時將達 1010.3 億，複合年均成長率（CAGR）21.9%，市場產值幾乎是每四年就翻倍成長。從智慧製造、太空探索、軍事國防、外科手術、遠距醫療、公眾服務，到家庭照護，AI 機器人將無所不在。

融合真人與機器協作、兼顧個性化生產和環境的永續發展，以及緊密產業生態系統的夥伴關係，這樣的未來工廠，被歐盟定義為工業 5.0（Industry 5.0），也就是第五波工業革命。相較於前一波工業 4.0 是由物聯網科技所觸發，這最新一波工業革命主角是 AI 機器人。

AI Robots Market Size 2023 to 2034



Source: <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-robots-market>

▼會自主思考的 AI 機器人：運算平台、感測器同步、機器控制、自主移動和 Domain Knowhow 的完美整合

傳統生產線上布建的機器視覺和機器手臂是依據預設的規則、參數和指令行事，AI 機器人與傳統機器人最大的不同，在於透過深度神經網路（DNN）的機器學習（machine learning），可以模仿人類認知功能，不僅可以吸收、處理資訊，還可以「做中學」，從不斷累積的經驗中學習並自我修正，而達到最佳表

現，並可透過自然語言與人類溝通；整合精準的機械控制模型和運動控制模型，由基礎的「自主決策」能力加上「自主控制與移動」能力，與人類共同協作，以滿足應用場域中各種方案的需求。

AI 機器人的重要組成功能單元：

- **動力控制（整體運行）**：包括電池與控制模組、充電模組、散熱解決方案、電力傳輸、驅動器、編碼器…等。

- **感測單元（資料蒐集）**：包括環境感測器、觸覺感測器、鏡頭與相機模組、6D 力矩感測器…等。
- **決策單元（決策處理）**：包括作業系統、系統晶片、機器視覺解決方案、遠端監控方案、AI 運算（機器學習、深度學習）、自然語言處理、生成式 AI 內容解決方案…等。
- **機械控制（關節活動）**：包括機器手臂、馬達、螺桿、減速機、金屬機構件…等。

其中決策單元就是 AI 機器人的「大腦」，負責串聯動力控制、感知單元和機械控制等單元，依據任務要求完成目標，並針對外在環境的變化做出自主決策和反應，需要的不只是高速的資料傳輸，更需要高效能的運算平台來即時處理感知、定位、動態路徑規劃、及物體辨識等 AI 任務決策運作；而提供高算力、高品質、具備強固特性的運算平台，正是台灣工業電腦廠商的強項。

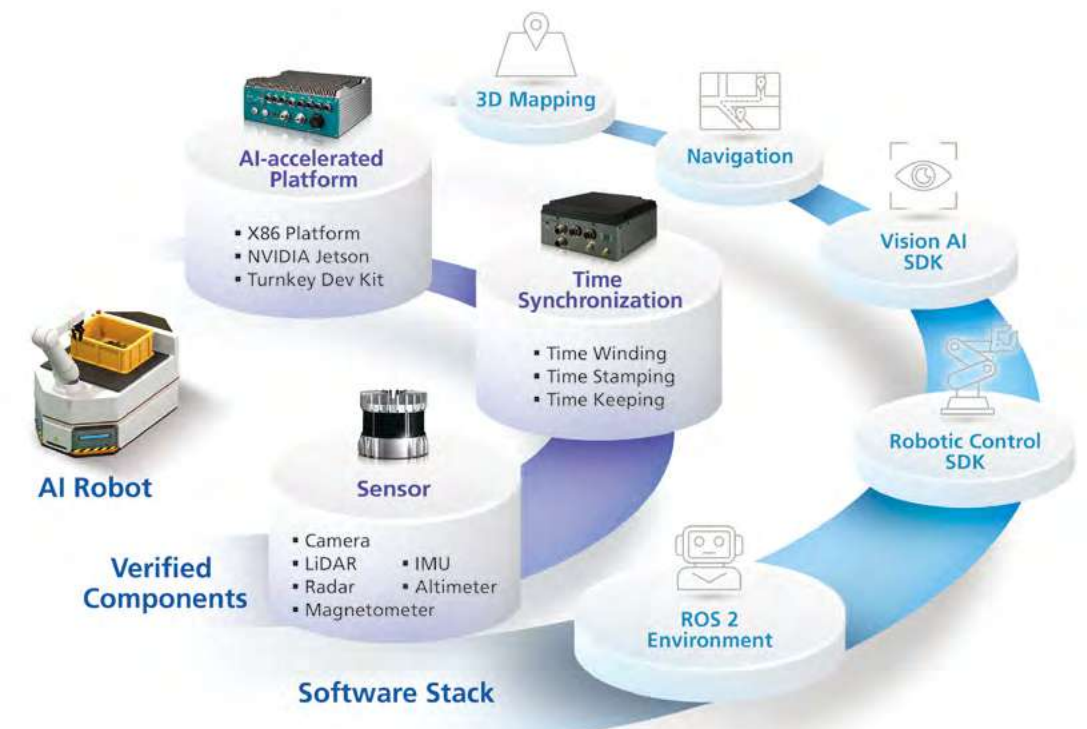
▼工業電腦作為 AI 機器人「大腦」具備的優勢

工業電腦具備下列特性，適合作為 AI 機器人和機器人的運算平台：

- **更優化的強固特性與產品耐受度設定**：許多產業對於重複性高、人力缺乏或是危險性高的任務，會優先考慮用機器人來取代傳統人力，例如：農業用機器人經常處於戶外高溫、高濕、塵土飛揚的工作環境、海事機器人工作在港邊或船舶這類高度潮濕和鹽害的環境、醫療機器人需要具備抗菌避免病毒傳播的能力；這些機器人需要具備自主移動功能或是架設在動態載具上，其內嵌電腦須具備抗震、抗衝擊、防水、防塵、寬電壓支援、無風扇寬溫運作，以及車載模式支援…等強固特性，才能確保在動態載具上、或沒有空調系統、或各式各樣的嚴苛環境下仍可正常運作使用。



透過先進的 AI 機器人方案服務，滿足各垂直應用領域的部屬需求



一站式 AI 機器人方案服務彈性提供多種選項與組合，可針對痛點量身訂做，以符合專案需求。

- **通訊與感測器支援：**AI 機器人或無人機需要整合複雜的感測系統、控制系統、動力系統、運動系統等元件，支援工業通訊標準和介面是必要條件，即時穩定的無線通訊能力、車載應用常用的 CAN bus 通訊協定和 GMSL/ GMSL2 車載相機支援也是相當重要，確保 AI 機器人的所有元件都可以無縫及時地發揮功能，完成任務。
- **嚴謹的軟硬體版本管控：**工業電腦具有嚴謹的軟硬體版本管控機制，確保專案開發過程可順利進行，不會一直因版本更新需要重新做相容性驗證，只有在所有元件都完成驗證確認的情況下才會進版更新，確保各項系統元件能常保正常運作。
- **零組件長期供貨保證：**因為專案需要長時間的驗證測試完成確認才會導入，工業電腦對於每一個元件提供至少 5 到 7 年長期供貨保證，確保專案或標案能持續正常運作，不因電腦系統迭代而被迫換機，增加業主建置成本、維護負擔甚至違約責任。

- **支援少量多樣的客制化需求：**AI 機器人會因應應用場域的特性，產生各種少量多樣的客製化需求，許多工業電腦廠商具有專業服務團隊，可支援少量多樣客製化的設計和生產，並支援驗證測試相關要求，是 AI 機器人運算平台可靠又極具競爭力的選擇。

應用案例一：新世代 AI 倉儲管理方案

遠端倉庫搬運車隊有效克服缺工問題並同步提升職場安全

除了大型物流中心每天會有頻繁的貨物進出，一般中小企業的倉庫運作節奏常有明顯淡旺季，不是每天都會有貨物需要進出，頻繁的可能是每周數次，有的可能是每年一次、但短暫地集中在幾個星期，在價格所費不貲且非長期使用的狀況下，大部分業主購買自有搬運設備的意願並不高，對於相關設備的選用知識有限，傾向於在有需要的時候借用或租用這樣的設備或是服務團隊來協助執行。

在歐美的一個新創團隊看到了這個需求，利用強固型高效能嵌入式系統打造出專業的 AI 無人搬運車隊服務，結合機器視覺和自行研發的方案技術為每個專案量身客製進行模型建立、AI 推論、任務執行和遠端管控，有效克服了中小企業預算有限、缺乏勞工、相關知識不足、以及經驗傳承的問題；這個技術方案也受到美國一家知名物流整合服務集團的青睞，成為集團一員提供多元陸地、空運，與海運解決方案，協助客戶優化的供應鏈、提升營運效率、降低成本支出。

實現這項物流整合方案新革命的關鍵是超恩的嵌入式邊緣運算平台 EAC-5000 和 EAC-6100，內建 NVIDIA® Jetson Orin™ AI 系統模組和開發套件，尺寸精巧但性能強大，AI 算力最高可達 275 TOPS（EAC-5000）；支援寬溫強固運作，支援車載系統開關機控制功能（ignition power control），確保電腦系統在車輛發動或熄火時不影響正常運作，具備 CAN bus 和 EtherCAT 等車載和工業用通訊埠，以及 GMSL2 車載相機介面（EAC-6100 可支援 4 支，EAC-5000 可支援 8 支），同時提供 out-of-band 遠端管理功能和 human-in-the-loop AI 學習功能，相當適合自主移動機器人 AMRs 和車載運算 in-vehicle computing 應用。

超恩最新發表的 NAC-1000 AI 機器人方案平台，NAC-1000 基於 NVIDIA Nova Orin 次世代 AI 機器人架構，完全支援 NVIDIA Isaac™ ROS 開發套件和 NVIDIA Isaac™ Perceptor 軟體堆疊開發，可加速 AI 機器人專案的研發、驗證和部署，是實現 AI 機器人專案 faster time-to-market 的明智選擇。

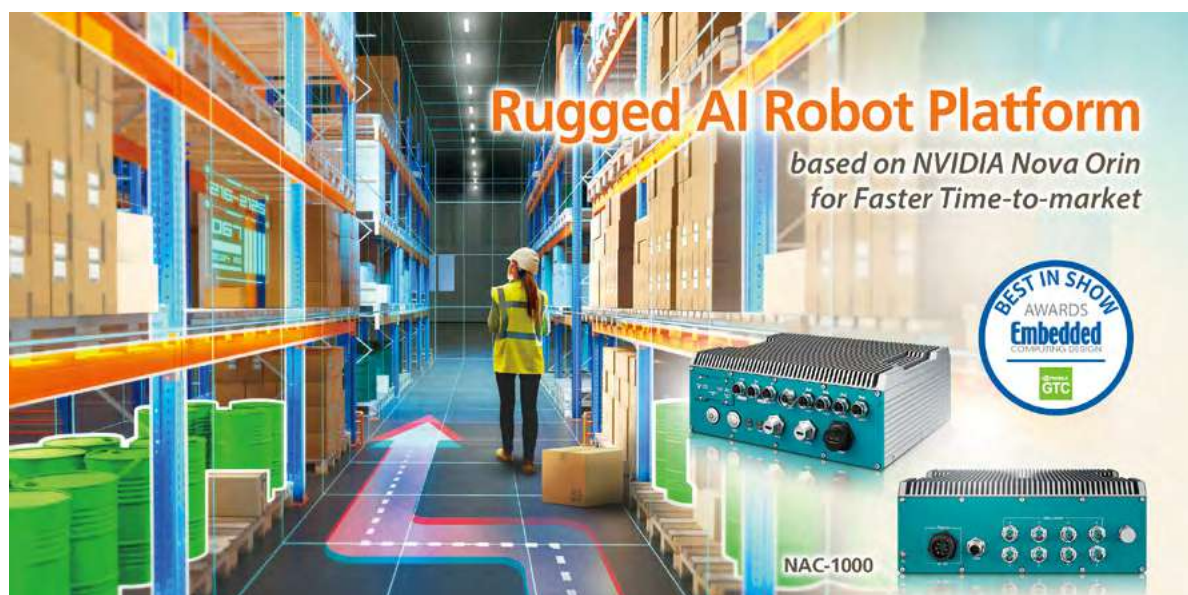
應用案例二：智慧農業

自主移動機器人化解地球糧食危機的生力軍

在反全球化的貿易戰中，糧食儼然成為各國政府不能輕易放棄的戰略物資，但因愈來愈少人願意從事單調、長工時、收入又不高的農業工作，用 AI 機器人來帶動農業的智慧轉型對世界各國都是發展趨勢。利用具有強固特性的自主移動機器人 AMR 或無人機來執行農務，不怕長時間風吹、日曬、雨打、不怕吸入農藥中毒、不怕工作枯燥，只要電池續航力許可就可開工，AI 農用機器人成為從事農業生產的先進顯學。

在地廣人稀的北歐瑞典一家農機公司利用超恩 ECX-3200 超強固嵌入式系統開發出具備 AI 演算功能的自主移動除草機，優秀的電池續航力可支援連續工作 8 到 10 小時，可透過手機或平板 APP 來管控工作進度。採用高效能 Intel® Core™ i7-13700 處理器平台，搭載高速 DDR5 快閃記憶體和固態硬碟，支援 2.5 GigE PoE 和 10G USB 3.2 Gen 2 高速機器視覺，具備 5G 無線通訊能力，寬溫寬壓超強固設計，ECX-3200 是一款工作站等級強固型工業電腦，提供即時 AI 推論所需的高算力和資料傳述能力，讓除草機器人可以在廣大農地上精準定位、分辨雜草與作物、避開人畜和障礙物，同時在戶外嚴苛環境中，依然穩定可靠地運作。利用機器視覺和 AI 推論技術達到精準除草和灑藥，也可有效減少除草劑和農藥的使用，進而降低對於環境的汙染。

超恩推出新一代 ECX-4000 強固型嵌入式電腦，採用最新 Intel® Core™ Ultra 處理



超恩 NAC-1000 AI 機器人方案平台，可加速 AI 機器人專案的研發、驗證和部署，是實現 AI 機器人專案 faster time-to-market 的明智選擇。



超恩 ECX-4000 強固型嵌入式系統，採用 Intel® Core™ Ultra 處理器 AI PC 平台，最先進的 CPU+GPU+NPU 運算架構，是 AI 機器人的理想運算平台。

器 AI PC 平台，以最先進的 CPU+GPU+NPU 運算核心架構提供更高效能的 AI 算力，有效降低 AI 落地部屬的成本，更符合工業 5.0 核心的永續價值。此外，ECX-4000 支援 Intel® OpenVINO™ 開發套件，內建超過 500 個以上的 AI 推論模型，可有效加速 AI 專案的開發和落地，適合導入在 AI 機器人平台，也符合智慧農業的各種應用需求。

▼逐鹿天下，比競爭更關鍵的是合作

AI 機器人需要整合許多種軟硬體元件，牽涉到的供應鏈相當複雜，幾乎沒有廠商可以憑一己之力進行，必須結合產業生態夥伴的優勢和力量，整合出更具競爭力的解決方案，並持續在開放架構上確保產品使用的相容性，降低機器人生產和維護的成本，以利整體市場和產業的壯大，推動人類科技文明的進步。身為台灣最具創新能力的工業電腦供應商之一，

超恩將持續致力於研究開發強固型高效能 AI 機器人運算平台，為打造更智能的地球、創造人類福祉貢獻一份心力！

▼關於超恩

超恩是嵌入式工業電腦產品的專家，致力於高效能強固型邊緣運算平台設計、開發、生產和提供具有高可靠性、先進技術和創新理念的高品質 AIoT 方案服務。超恩的產品包括：邊緣 AI 伺服器、AI 推論系統、超強固無風扇嵌入式系統、車載運算系統、嵌入式單板電腦、多點觸控電腦與顯示器、以及影像擷取卡、以及嵌入式周邊產品等。在全球機器視覺、車載應用、機器人控制、智慧交通、公眾安全、工業自動化、深度學習和 Edge AI 邊緣運算等領域，超恩的設計與製造服務有著領先的市場地位。

Robotic Automation virtual expo

智慧自動化 與 機器人線上展館

90+ Companies 400+ Products 一站掌握產業供應鏈！



掃描 QR Code，連結你的產業夥伴

Scan to connect with your industrial partner network.

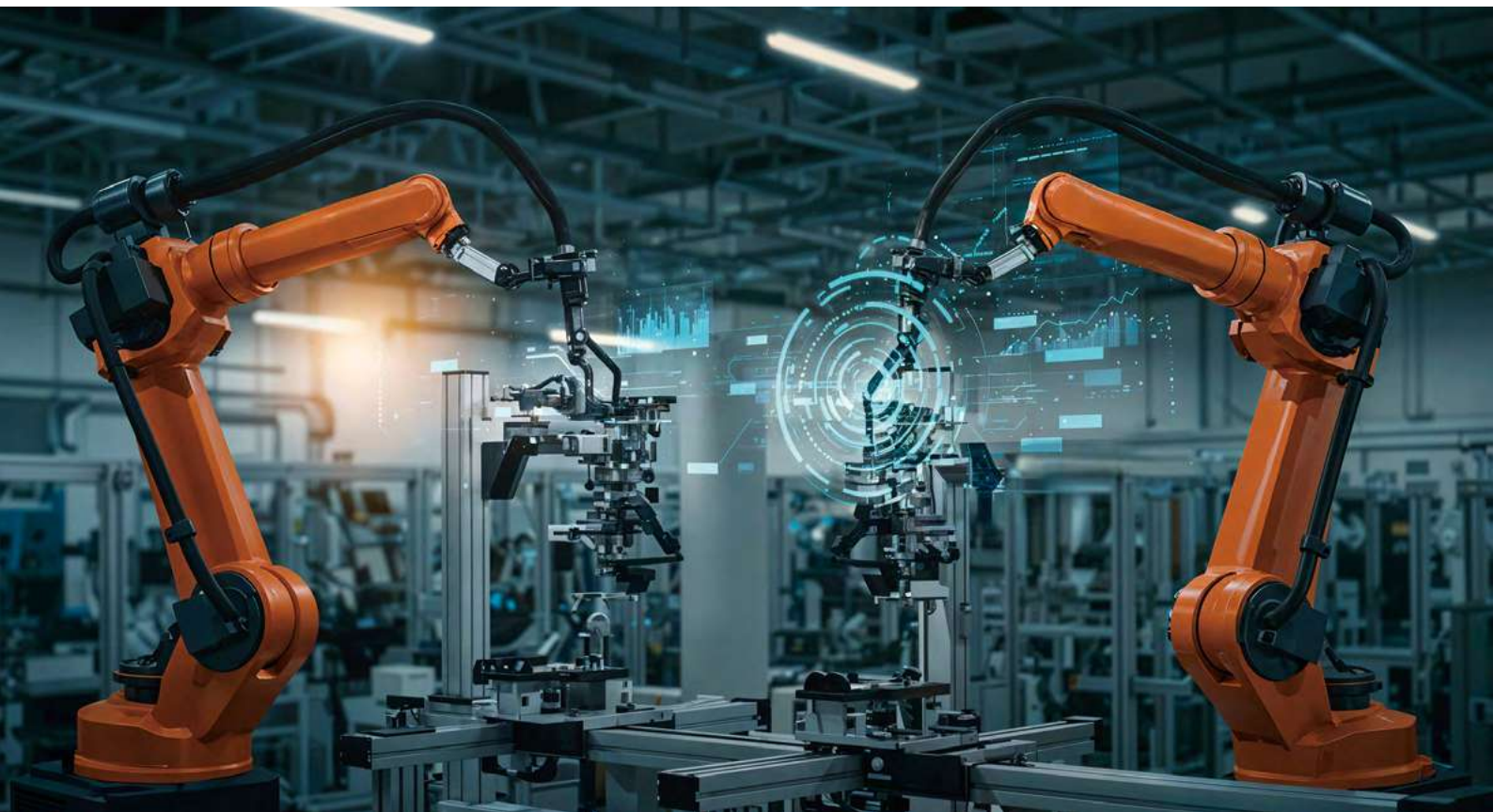


功能升級 - 更懂你需求

- 多國語系支援
- AI CHAT 機器人



www.tairoab2b.com



工業機器人手臂之軌跡與能耗最佳化方法研究

Abstract—多軸能耗分析模組在自動化工廠中至關重要，特別是與機械手臂配合使用時。我們開發了一個混合動態模型，該模型將多軸機械手臂的動力學與機器學習的誤差修正功能相結合，並考慮各關節的角速度和角加速度。此模型提供機械手臂物理行為的數學表示，利用各軸的角度、速度、加速度和負載參數。透過結合人工神經網路（ANN）與實驗扭矩值，我們估算給定軌跡的能耗。此混合模型作為代理模型，用於粒子群最佳化（PSO）演算法的離線路徑最佳化，並將其表述為以運動時間和能耗為目標的雙目標問題。PSO 演算法識別機械手臂執行取放作業的最佳軌跡、速度和加速度設定。實驗評估顯示，此最佳化技術可在維持運動速度的同時，降低超過 10% 的能耗。**Index Terms**— *Artificial neural networks, node-based Trajectory, particle Swarm Optimization, Machine Learning.*

文 | 精密機械研究發展中心 陳哲堅副處長

▼ I .INTRODUCTION

近年來，包括機械手臂在內的機器人在過去由人力執行的自動化任務中日益普及，導致這些機器的能耗快速增加 [1]。許多政府政策現在著重於節能與永續發展。歐盟（EU）針對智慧機器人與自動化執行了能源效率改善計畫，在降低機器人和自動化設備能耗方面展現了良好的成果 [2]。同樣地，台灣政府也提出了數項政策，推動更環保且更永續的能源使用，強調能源效率 [3]、[4]。針對機械手臂的能源管理已進行了大量研究，以建立其能耗特性模型 [5]、[6] 並提升能源效率 [5]、[7]–[9]。

隨著碳減量政策的推廣，能源效率已成為各產業的焦點。在機械手臂應用中，優化運動軌跡的能源效率對於永續環境發展至關重要。本研究旨在整合基於節點軌跡（Node-based Trajectory, NBT）生成方法與粒子群最佳化（PSO）方法，以實現機械手臂的最佳化路徑規劃，產生節能的可執行機器人程式碼。

▼ II .NODE BASED METHOD

雖然傳統機械手臂軌跡規劃技術相當成熟，取放應用主要使用點對點（P to P）或直線運動模式。然而，從能源效率的角度來看，直線運動經常涉及許多不必要的關節運動，導致過度的能耗。本研究旨在透過使用基於節點的方法來最佳化機械手臂軌跡以解決此問題。這包括從取放應用中點 A 和點 B 的位置、速度和加速度開始，使用 NBT 方法來產生新的軌跡點，考慮主要機器人品牌支援的非線性

spline 運動，通常為 4 至 8 個擬合點。然後使用粒子群最佳化（PSO）方法同時最佳化這些點，以達到具有較低能耗和較短運動時間的最佳軌跡路徑。最終的機械手臂程式碼是透過將離線最佳化獲得的軌跡參數（X、Y、Z、速度、加速度）轉換為機器人控制器的原生 spline 運動軌跡指令來產生。最終輸出可直接用於控制機械手臂，包含新的最佳化路徑，即軌跡路徑點，以及建議的速度、加速度和操作時間。

▼ III.NODE-BASED TRAJECTORY

NBT 概念基於數種機械手臂支援的 spline 運動模式，該模式產生由起始點、路徑點和終點定義的非線性插值軌跡。對於 NBT 的產生，軌跡的起始點和終點被視為初始輸入，並在笛卡爾空間中定義約束條件。

考慮機械手臂的 3D 運動空間，我們首先考慮位置 (x, y, z) ，而歐拉角則被忽略，因為在取放操作過程中物件的方向必須保持不變。這些因子是使用 PSO 最佳化機械手臂運動路徑的主要參數。為確保節點最佳化的穩健性，我們定義必要的約束條件以避免意外結果，例如機器人操作範圍內的碰撞。此外，為了確定初始節點，我們使用線性參考軌跡。其後，根據節點數量在線性軌跡的笛卡爾空間上選擇等距點來建立可最佳化的 NBT。這有助於建立固定的起始點和終點，確保最佳化過程不會改變初始和最終位置，同時使它們之間的其餘節點能夠被最佳化演算法最佳化。因此，數學方程式 $f(x, y, z, t)$ 被用作 PSO 的雙目標函數，代表總能耗（e）和時間（t）。

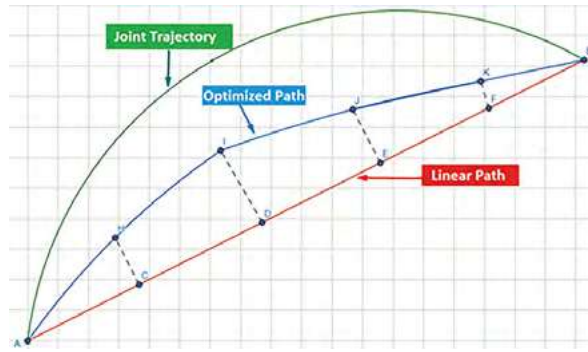


圖 1. 基於節點路徑規劃的節點與參數區域定義。

此外，選擇節點數量對於達到最佳結果至關重要。隨著節點數量增加，最佳化問題的複雜度也會增加。透過初始增加節點數量，總最佳化能耗可以降低。然而，超過特定數量後，它趨向於接近飽和，而最佳化過程的計算時間則隨著節點數量持續增加。因此，最佳節點數量介於 4 至 6 個節點之間，能夠平衡計算時間和能源效率，如圖 2 所示，該圖是透過初始離線模擬獲得的。

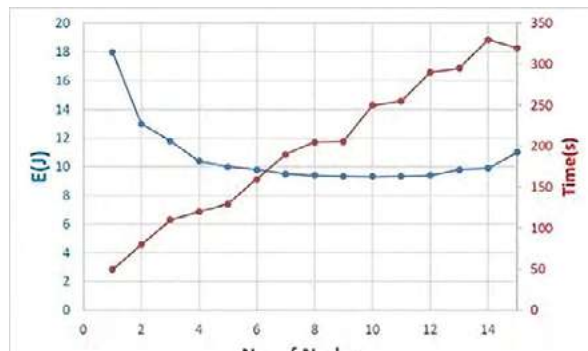


圖 2. 描述所設定節點數量、時間和能量衰減之間關係的圖表。

Spline curves 可分為兩種類型：Pure spline interpolation 和 Spline approximation，如圖 3 所示。前者要求曲線通過節點，而後者使用控制點而不要求曲線通過它們。大多數機

器人控制器在精度設定為最大時使用 Spline curves。此外，由於此插值方法較易於模擬且在數值上具有確定性，本研究使用 Spline curves 來插值節點並進一步計算軌跡。

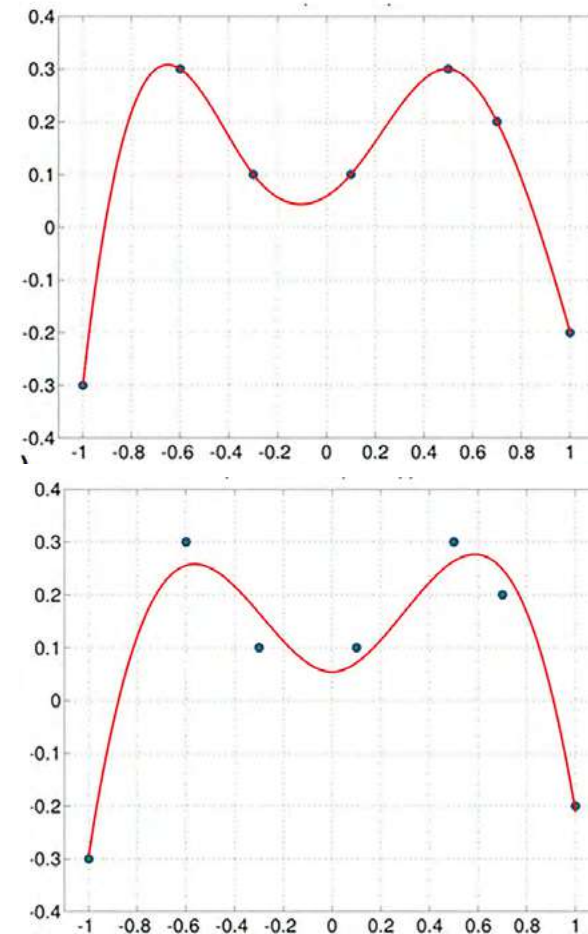


圖 3.Top: Pure spline; Bottom: Spline approximation

▼ IV. JOINT TORQUE ENERGY CONSUMPTION CALCULATION AND ANN MACHINE LEARNING FOR PATH PLANNING

在定義曲線路徑方程式後，我們接著規劃使用基於模型的方法計算關節扭矩值，並將其提供給人工神經網路（ANN）模型進行訓練。首先，在 3D 空間中定義路徑點，以及最大速度、加速度和加加速度。然後，如前一節

所述，使用 Spline curves 值產生完整軌跡，同時使用 S 型加速和減速曲線建立插值點。在此過程中，我們利用 Ruckig 函式庫 [8] 來計算插值點，在 1 毫秒內提供計算結果，能夠即時輸出插值笛卡爾座標點、速度和加速度曲線。隨後，3D 空間中的座標透過逆運動學計算 [9] 轉換為機械手臂各關節的角度。最後，計算各關節的角速度和角加速度，並利用我們先前工作 [9] 中開發的混合能耗預測模型來預測各關節的扭矩值。

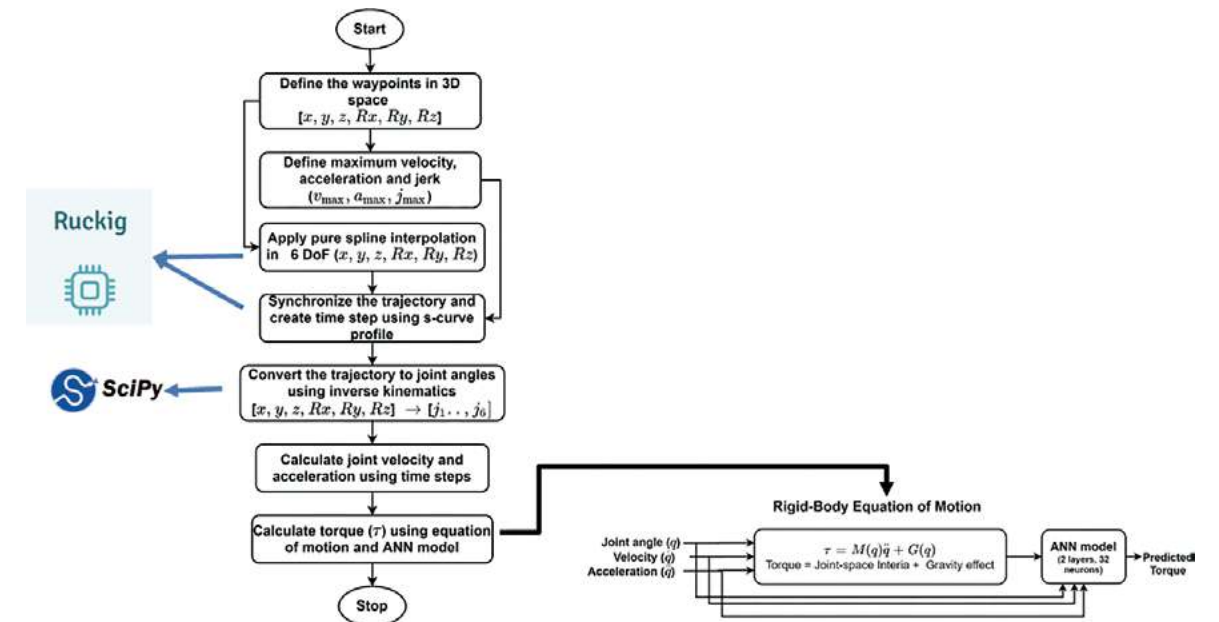


圖 4. 基於模型的關節扭矩計算與 ANN 機器學習扭矩預測過程圖。

為了使用角度、速度和加速度來獲得各關節的扭矩，我們利用運動方程式來推導機械手臂的動力學模型。動力學模型的一般表達式如下：

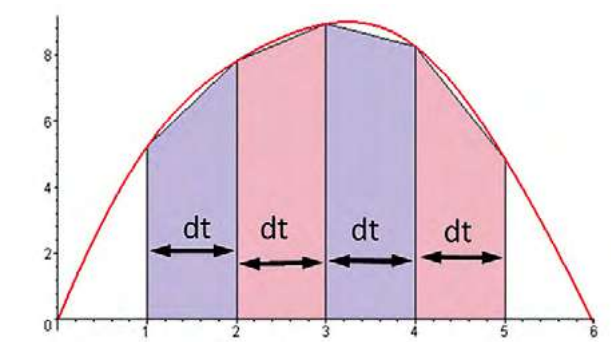
$$\tau(q) = M(q) \ddot{q} + F(\dot{q}) + G(q) \quad (1)$$

其中 q 代表關節角度， $\dot{q}$ 代表關節角速度， $\ddot{q}$ 代表關節角加速度。機械手臂在各節點間的速度和加速度計算涉及使用逆運動學將笛卡爾空間中的軌跡運動轉換為關節空間運動，並計算關節角度 q 的一階和二階導數以得到速度和加速度，其中 $\dot{q} = dq/dt$ 和 $\ddot{q} = (d\dot{q})/dt$ 。扭矩是關節角度、速度和加速度的函數，沿軌跡的總能量透過沿軌跡積分扭矩值

來計算，如圖 5 所示。在實際應用中，使用數值積分方法進行計算。機械手臂能量計算的精度受時間步長 dt 的影響，因為能量是扭矩和角速度的函數 [9]。

$$\text{Torque at joint configuration, } q: \tau(q) = M(q)\ddot{q} + F(\dot{q}) + G(q)$$

$$\text{Total torque of trajectory, } \tau_{total} = \int_{t=0}^{t=n} \tau(t) dt$$



為了使用便利性，NBT 函數以 Python 程式語言實作。軌跡產生 (TG) 模組的結構如圖 6 所示。TG 模組利用使用其 URDF 建立的 MH12 機械手臂運動學模型。它接受定義路徑的動態參數作為輸入，例如線性、關節或 spline path 類型、最大速度和最大加速度。例如，Linear = [點 A, 點 B]，P2P = [點 A, 點 B]，Spline = [點 A, 點 B, 點 C,..., 點 N]。該函數輸出一組軌跡點、關節角度和時間，可進一步透過模型利用來計算扭矩和能量。

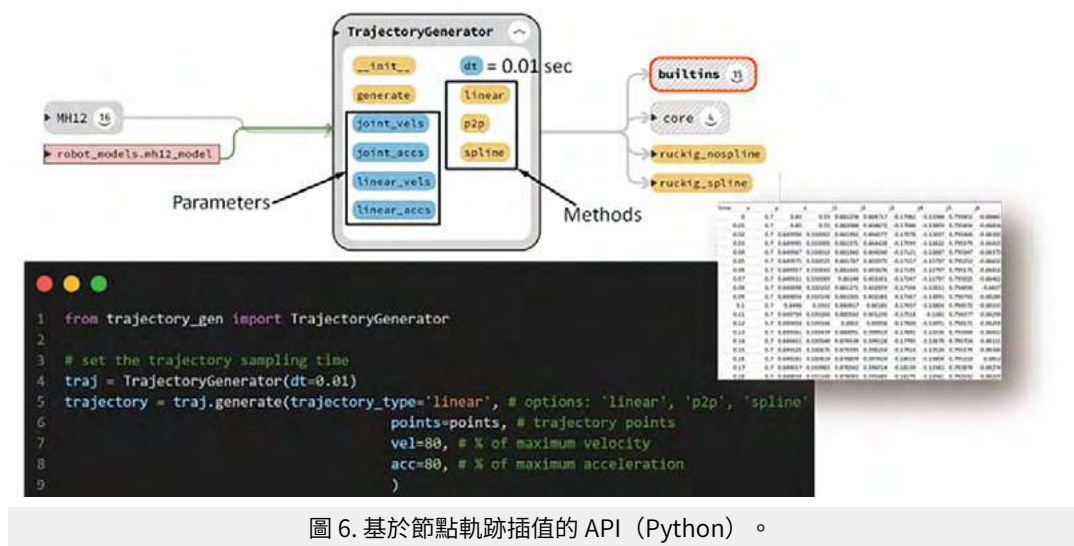


圖 6. 基於節點軌跡插值的 API (Python)。

▼V.PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

在機器人運動控制領域中，利用 PSO 進行雙目標最佳化，同時考慮能耗和運動完成時間，是實現最佳機械手臂軌跡規劃的有效方法。以下是 PSO 在所提出的機械手臂軌跡最佳化中的應用過程：

i、問題定義：主要問題是找到空間中兩點間的最佳化運動軌跡路徑。因此，初始在固定速度和加速度參數下，目標是找到空間中兩點間的最佳化軌跡路徑，考慮能耗和運動時間的雙目標。

ii、邊界條件定義：機械手臂的關節限制和自碰撞約束被定義為邊界條件。此外，關節空間運動（也稱為關節插值方法）被用作

NBT 中節點最佳化的笛卡爾約束條件。
iii、最佳化演算法：使用線性軌跡作為參考，將其分為 5 個等距節點（不包括起始點和目標點）。使用非支配排序粒子群最佳化器 (NSPSO) 演算法進行雙目標最佳節點搜尋。然後使用所有節點透過 NBT 方法產生軌跡。使用混合能耗預測模型來計算機械手臂的能耗和運動時間。

iv、參數設定：用於 PSO 演算法最佳化任務的參數如下：世代數 = 50，種群數 = 128，力量大小 (c1 = 0.1, c2 = 0.5)，速度縮放因子 = 0.5，領導者選擇範圍 = 2，記憶 = 5 世代。

v、分析：帕雷托前緣列出了在能耗和運動時間之間進行權衡的最佳解。進一步最佳化涉及透過改善速度和加速度設定來細化軌跡。

Trajectory Optimization

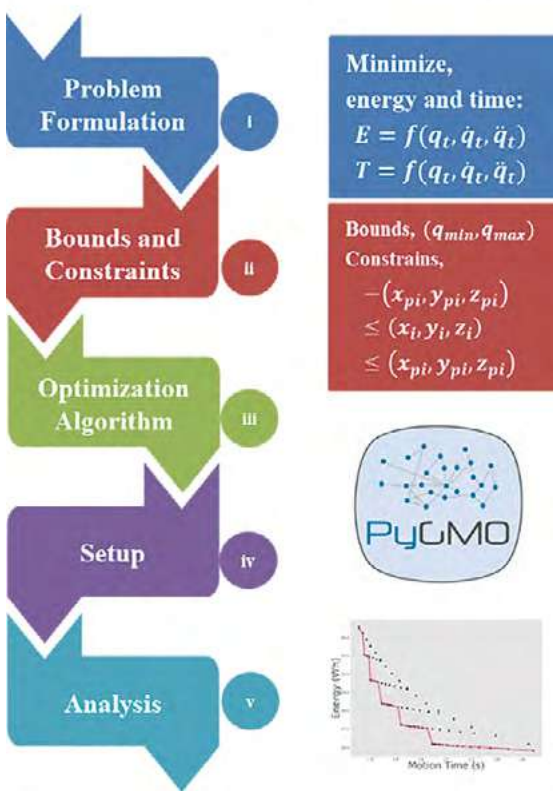


圖 7. 粒子群最佳化 (PSO) 設計流程。

▼VI.RESULT

路徑規劃的最佳化過程如圖 8 所示，首先由使用者定義起始點 (A)、終點 (B)、節點數量以及各節點的邊界限制，接著產生這些點之間的線性路徑。根據指定的節點數量設定粒子群最佳化 (PSO) 的初始參數，例如迭代次數 (世代數) 和種群大小 (種群數)。接著開始各粒子的計算迴圈，為第 i 個粒子產生 spline 軌跡插值點。逆運動學計算確定各關節的角度、角速度和角加速度，並將其輸入預先建立的模型來計算各關節的扭矩。此扭矩資料訓練 ANN 來估計能耗和路徑的總行進時間。一旦為各粒子計算出這些參數，過程會迭代直到所有粒子都被計算完成，形成第一世代粒子。此資料指導後續世代的最佳化方向。迭代過程持續進行直到所有世代完成或滿足終止條件，實現能耗和運動時間最小化的最佳化路徑。

【 B1子項移載設備減碳優化模組】Q2執行進度說明

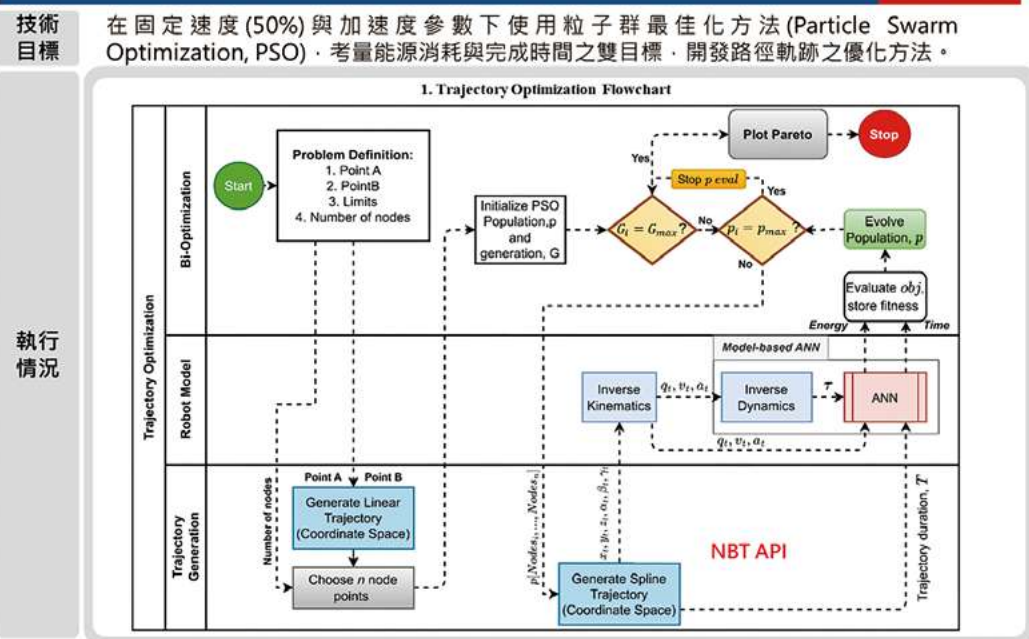


圖 8. 能耗、時間與路徑的最佳化流程圖。

在前述機械手臂或機器人路徑軌跡最佳化過程中，我們成功應用粒子群最佳化（PSO）方法找到以能耗和完成時間為雙目標的最小化最佳路徑軌跡。為了進一步提升性能，特別是在速度和加速度設定方面，我們透過使用 PSO 方法的世代迭代來細化參數，特別專注於所產生路徑上的角速度和角加速度。此迭代細化確保機械手臂以更高的效率和精度運行，進一步降低能耗並改善整體性能。

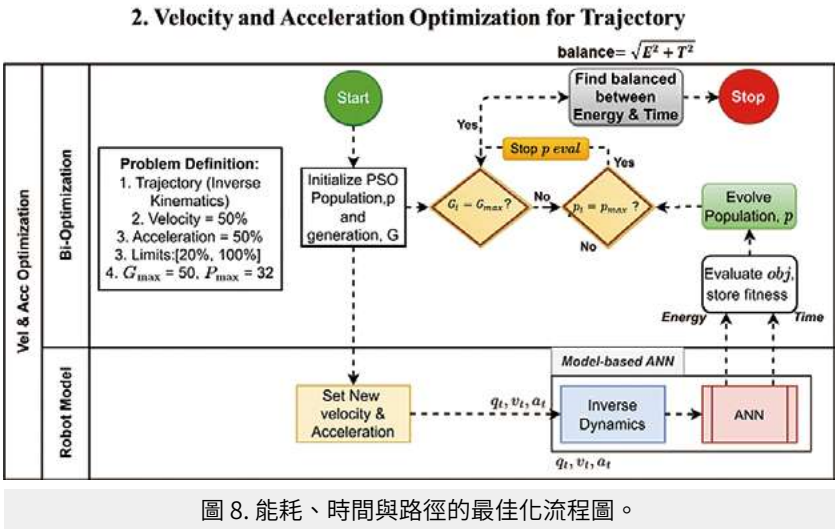


圖 8. 能耗、時間與路徑的最佳化流程圖。

在進行系統驗證之前，我們設定 PSO 的初始化參數。有兩個驗證情境：第一個涉及從上到下的路徑（案例 1），第二個涉及從下到上的路徑（案例 2）。對於案例 1，路徑從 [0.7, 0.85, 0.5, -3.14, 0, -3.14] 開始，到 [-0.1, 0.50, 0.1, -3.14, 0, -3.14] 結束，總長度為 0.96 公尺。初始速度（粒子）和角加速度設定為限制的 50%，有 5 個節點。產生線性和點對點（P to P）路徑。最佳化種群設定為 128，最佳化世代數為 50。對於案例 2，起始點為 [0.7, 0.8, 0.0, -3.14, 0, -3.14]，終點為 [-0.2, 0.55, 0.4, -3.14, 0, -3.14]，總長度為 1.01 公尺。其他參數與案例 1 相同。透過設定這些參數和條件，我們旨在驗證 PSO 方法在兩種情境下最佳化機械手臂路徑軌跡的有效性。

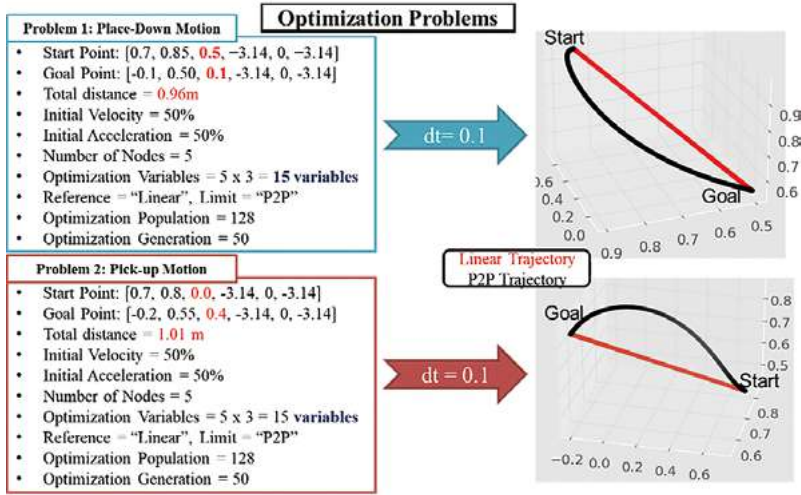


圖 10. 案例 1 從上到下；案例 2 從下到上。兩者都是 PSO 的初始參數設定。

在圖 11 中，顯示了案例 1 向下放置軌跡路徑的 PSO 最佳化結果。圖中繪製了最終世代的粒子編號，水平軸代表能耗，垂直軸代表時間。從此圖可以獲得帕雷托前緣，突顯了能耗與時間之間的最佳權衡。從此前緣中選取六個粒子點（路徑 0 ~ 5），代表在雙目標方面最有效率的路徑。

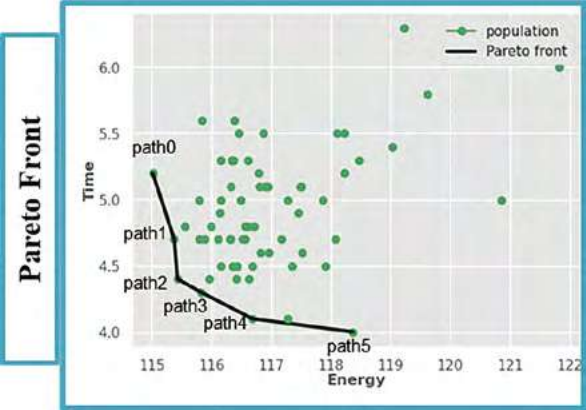


圖 11. 案例 1 向下放置軌跡路徑的最佳化結果。

粒子點（路徑 0 ~ 5）對應的笛卡爾座標如圖 12 所示，其中包括線性路徑、點對點路徑和 spline 路徑。

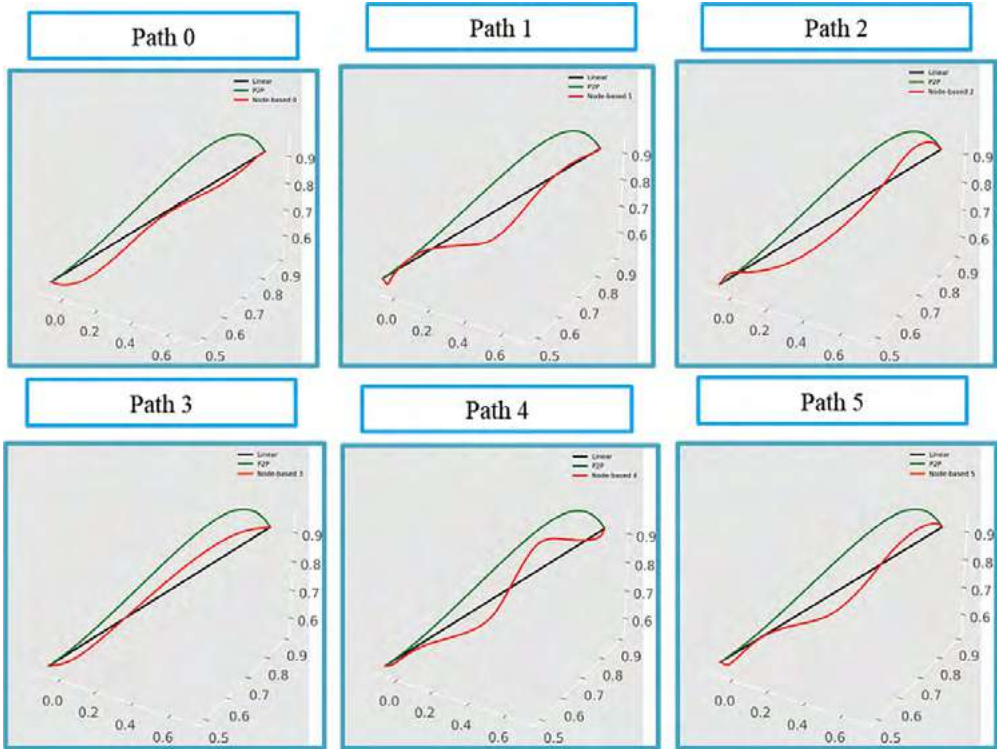


圖 12. 案例 1 最佳化路徑的笛卡爾座標圖，包括線性路徑、點對點路徑和 Spline 路徑。

表 1. 案例 1 向下放置軌跡路徑的最佳化結果與資料表。

Motion Type	Energy (Wh)	Time (s)	Energy savings(%)
Linear	13.311	4.05	0.00
P2P	12.761	3.21	4.1
Path 0	11.505	5.2	13.56
Path 1	11.533	4.7	13.35
Path 2	11.547	4.4	13.25
Path 3	11.588	4.3	12.94
Path 4	11.685	4.1	12.21
Path 5	11.845	4	11.01

表 1 總結了案例 1 向下放置軌跡路徑的最佳化結果，突顯了不同運動類型及其各自的能耗、完成時間和節能效果。基準線性運動在 4.05 秒內消耗 13.311 Wh，作為無節能效果的參考。點對點（P2P）運動在此基礎上有所改善，消耗 12.761 Wh，時間為 3.21 秒，實現 4.1% 的節能。使用粒子群最佳化（PSO）衍生的最佳化路徑（路徑 0 ~ 5）提供了進一步的改善。例如，路徑 0 消耗 11.505 Wh，時間為 5.2 秒，產生最高的 13.56% 節能效果。其他最佳化路徑提供類似的效益，比線性和點對點運動更有效地平衡能耗和完成時間。這證明了 PSO 在提升機械手臂軌跡的能源效率和操作性能方面的有效性。

表 2. 案例 1 向下軌跡路徑速度與加速度最佳化結果資料表。

Motion Type	Energy (Wh)	Time (s)	Vel (%)	Acc (%)	Energy savings (%)
Path 0	11.202	5.0	67	84	15.84
Path 1	11.365	4.7	51	71	14.62
Path 2	11.517	4.4	55	59	13.48
Path 3	11.698	4.0	78	100	12.12
Path 4	11.736	3.7	74	82	11.83
Path 5	11.806	3.6	84	92	11.30

表 2 呈現了案例 1 中從帕雷托邊界選取的六個粒子點（路徑 0 ~ 5）的速度與加速度參數最佳化結果。它顯示了各路徑的能耗、完成時間、速度和加速度百分比，以及節能效果。路徑 0 實現了最高的 15.84% 節能效果，能耗為 11.202 Wh，完成時間為 5.0 秒，證明了最佳化速度和加速度設定在能源效率方面的顯著改善。其他路徑也顯示出顯著的節能效果和高效性能，突顯了進一步最佳化速度與加速度參數在提升機械手臂軌跡規劃方面的有效性。

圖 13 顯示了案例 2 情境的 PSO 最佳化結果。圖中繪製了最終世代的粒子，水平軸代表能耗，垂直軸代表時間。從此圖可以獲得帕雷托前緣，顯示能耗與完成時間之間的最佳權衡。我們在此前緣上選取了五個粒子點（路徑 0 ~ 4），代表在雙目標方面最有效率的路徑。

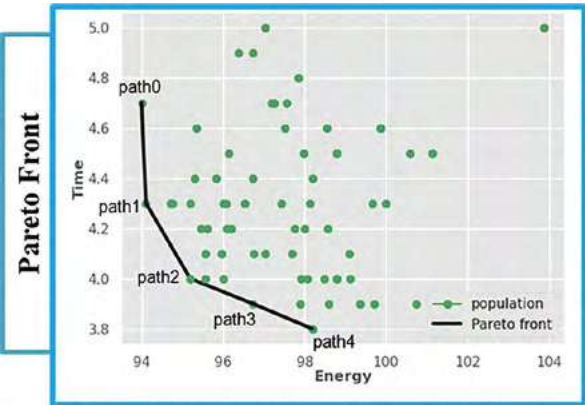


圖 13. 案例 2：向上軌跡路徑最佳化結果。

粒子點（路徑 0 ~ 4）對應的笛卡爾座標如圖 14 所示，其中包括線性路徑、點對點（P to P）路徑和 spline 路徑。每條路徑代表針對能耗和完成時間最佳化的不同軌跡，證明了 PSO 方法在識別機械手臂最有效率運動路徑方面的有效性。

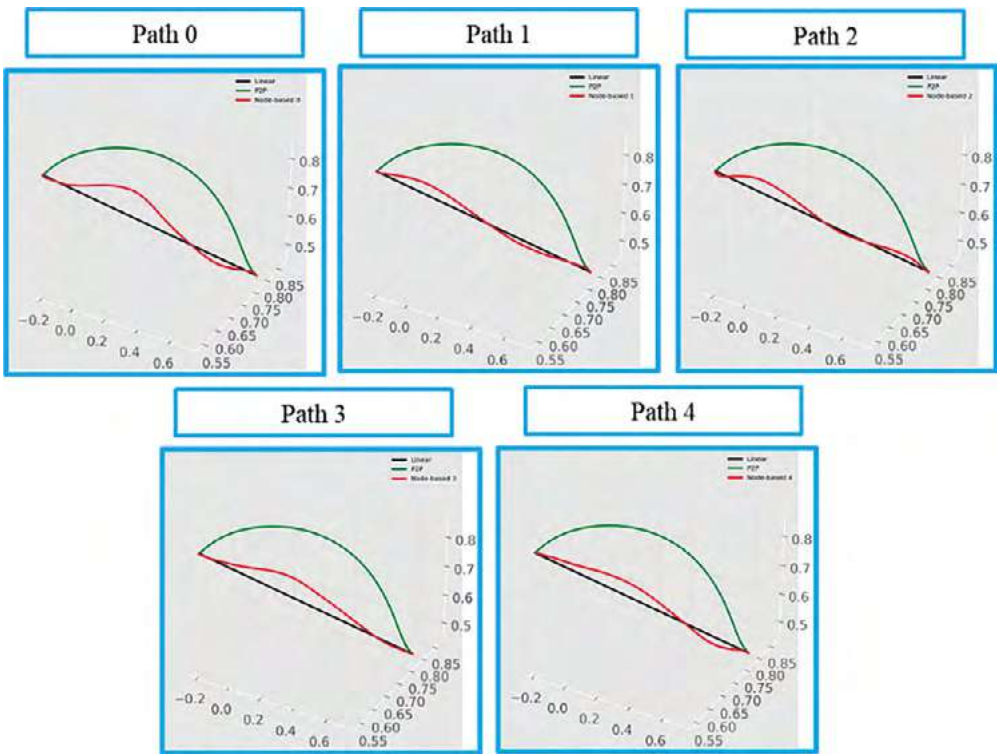


圖 14. 案例 2 最佳化路徑的笛卡爾座標圖，包括線性路徑、點對點路徑和 spline 路徑。

表 3. 案例 2 向上軌跡路徑最佳化結果資料表 RetryClaude can make mistakes. Please double-check responses.

Motion Type	Energy (Wh)	Time (s)	Energy savings(%)
Linear	11.016	3.2	0.00
P2P	10.857	2.5	1.44
Path 0	9.399	4.7	14.68
Path 1	9.410	4.3	14.58
Path 2	9.556	4	13.26
Path 3	9.742	3.9	11.57
Path 4	9.818	3.8	10.87

表 3 呈現了案例 2 向上軌跡路徑的最佳化結果，顯示各種運動類型及其對應的能耗、完成時間和節能效果。線性運動路徑在 3.2 秒內消耗 11.016 Wh，作為無節能效果的基準，而點對點（P2P）路徑顯示輕微改善，在 2.5 秒內消耗 10.857 Wh，產生 1.44% 的節能效果。使用 PSO 識別的最佳化路徑（路徑 0 ~ 4）展現顯著的節能效果，路徑 0 實現最高的 14.68% 節能，在 4.7 秒內消耗 9.399 Wh。表 4 透過最佳化五條選定路徑的速度和加速度參數進一步細化這些結果。路徑 0 顯示最顯著的 16.48% 節能效果，在 4.0 秒內消耗 9.2 Wh，速度和加速度分別設定為其限制的 69% 和 71%。路徑 1 緊隨其後，節能 15.80%，而其他路徑（路徑 2 ~ 4）也表現出顯著的能耗降低。這些綜合資料突顯了透過進一步最佳化速度和加速度設定所實現的增強性能和能源效率，證明了 PSO 在細化機械手臂軌跡以達到最大效率方面的有效性。

表 4. 案例 2 向上軌跡路徑速度與加速度最佳化結果資料表

Motion Type	Energy (Wh)	Time (s)	Vel (%)	Acc (%)	Energy savings (%)
Path0	9.2	4	69	71	16.48
Path 1	9.275	4.1	56	98	15.8
Path 2	9.397	4	84	75	14.69
Path 3	9.666	4.1	55	97	12.25
Path 4	9.767	3.6	54	98	11.33

▼ VII .CONCLUSION

使用粒子群最佳化（PSO）方法，我們開發了一種考慮能耗和完成時間雙目標的路徑軌跡最佳化技術。在節能方面，所提出的最佳化方法在向上和向下運動中均可降低 11 ~ 14% 的能耗。透過進一步最佳化軌跡的速度和加速度，可額外實現 1% 至 2% 的能耗降低。關於運動時間，點對點（P2P）運動具有最短的完成時間。此外，透過最佳化軌跡的速度和加速度，運動時間可以顯著縮短。這證明了 PSO 在提升機械手臂軌跡的能源效率和操作性能方面的有效性。

References

[1] Barnett, N.; Group, A.E. Direct and Indirect Impacts of Robots on Future Electricity Load. ACEEE Summer Study Energy Effic. Ind. 2017, 1–9.

[2] Union, E.; Programme, S.F. AREUS – Automation and Robotics for EUropean Sustainable manufacturing.

[3] Greenhouse Gas Control Implementation Plan Available online: https://ghgrule.epa.gov.tw/eng_article/index/16/24 (accessed on Dec 11, 2020).

[4] EPA Announces Draft Phase 1 Greenhouse Gas Emission Control Goals Available online: <https://www.epa.gov.tw/eng/F7AB26007B8FE8DF/36ddca51-8c30-4df4-97fe-d8801adbe930> (accessed on Nov 12, 2020).

[5] Paryanto; Brossog, M.; Kohl, J.; Merhof, J.; Spreng, S.; Franke, J. Energy consumption and dynamic behavior analysis of a six-axis industrial robot in an assembly system. Procedia CIRP 2014, 23, 131–136, doi:10.1016/j.procir.2014.10.091.

[6] Liu, A.; Liu, H.; Yao, B.; Xu, W.; Yang, M. Energy consumption modeling of industrial robot based on simulated power data and parameter identification. Adv. Mech. Eng. 2018, 10, 1–11, doi:10.1177/1687814018773852.

[7] Gadaleta, M.; Pellicciari, M.; Berselli, G. Optimization of the energy consumption of industrial robots for automatic code generation. Robot. Comput. Integr. Manuf. 2019, 57, 452–464, doi:10.1016/j.rcim.2018.12.020.

[8] Berscheid, Lars & Kroeger, Torsten. (2021). Jerk-limited Real-time Trajectory Generation with Arbitrary Target States. 10.15607/RSS.2021.XVII.015.

[9] Shivam, Kumar and Hsiao, Jen-Chung, “A Hybrid Energy Consumption Model for Industrial Robot Arms using Robot Dynamics and Data-Driven Approach,” Int. J. iRobotics, vol. 6, no. 2, pp. 9–15, 2023.

GPM

檢量磨拋自動化
領導製程創新



- AOI**
 - Glass Substrate AOI
 - Bare Wafer AOI
 - Reclaim Wafer AOI
 - Wafer Carrier AOI
- Metrology**
 - Scan White Light Interferometer
 - 3D NIR
- Grinding**
 - Panel In Feed Grinder
 - Strip Grinder



均豪精密 Inside
Advanced Packaging Process Integration



自主系統與機器人 產業推手 驅動智慧機器人 新時代

Grand View Research、Market.us 等市調機構預估，移動機器人（AMR）、商用無人機、人型機器人等加總產值，將於 8 年內突破千億美元。雖然市場需求強勁，機器人開發者和製造商卻面臨許多技術障礙，比如運行場域多樣複雜、關鍵感知元件不盡相容、人工智慧（AI）開發、迭代與維運等等挑戰，阻礙機器人產品普及與量產。

不同類型的機器人，實為自主系統的物理載體，而自主系統則是具備 AI 和感知技術、判斷決策並下達命令的大腦中樞。為促進整體產業發展，研華成立「自主系統與機器人」事業部，推出一系列專用的邊緣 AI 控制器、感測器及軟體開發資源，協助設備製造商和系統整合商快速適應多元的運行情境。

▼運行場域決定自主系統規格

機器人之組成和運作原理與人類相仿，由上位控制器（即邊緣運算器，如人的大腦）接收各種感測器的資訊（感官），判斷環境狀態後，對照任務規劃或預設邏輯，下達命令給運動控制器及動力機械（肌肉骨骼），精準完成任務。人類世界術業有專攻，機器人世界亦然，針對不同場域的任務目標、環境障礙、精準度、互動性等，需有不同的軟硬體架構。研華深耕產業多年，歸納出以下趨勢和需求。

人機合作仰賴 AI 決策

在若干較為單純或可控的自動化場景，如車輛裝配線，機器人已能取代人類。但多數

情境，如送餐、醫療照護，或少量多樣的組裝線，機器人仍需與人類互動、協作。愈需要與人和環境互動的機器人，其自主系統就愈應自我學習、即時判斷，而非仰賴無法窮盡的僵固規則。此外，機器人也要能主動察覺事件並挺身而出。舉例來說，醫療照護機構若有人跌倒、交通十字路口若有車輛事故，目前仍有賴人員舉報或監控，才能啟動應變機制。所幸視覺語言模型（VLM）發展快速，AI 已能辨識事件；可在邊緣端運行的小語言模型（SLM）也可望及時理解人類需求。

感知融合 AI 創新，降低硬體成本

AI 在自主系統中扮演的角色愈發重要，但 AI 運算器每單位成本的效能也屢創新猷，且 AI 模型不斷優化，開發者也持續幫整體系統瘦身。另一方面，許多感測器也融合了多種技術。某些深度攝影機，除了距離感測，還整合可見光（RGB）影像，甚至有內建的慣性感測模組（IMU）。

RGB 攝影機技術也是日新月異。有頻寬超過 10 Gbps、解析度達 6,400 萬畫素的 MIPI CSI-2 攝影機、也有將訊號延伸至 15 公尺並將延遲壓在 100 毫秒以下的 GMSL 技術，在在提升機器人的感知能力。

無線通訊及邊緣運算，確保多機協作

如物流倉儲等場域，需要數十甚至上百台 AMR 密集運作，稍有延遲，就可能導致塞車或事故。在宏觀層面（global planning），派遣或管理系統必須確保即時收、發所有

AMR 的位置，而 5G 或 Wi-Fi 6/7 等先進的通訊技術，可保障 AMR 在整個場域無縫漫遊、高速傳輸；個別行進中的 AMR 在微觀層面（local planning），則需要即時判斷、避開障礙物，不應倚靠集中式的決策判斷。

透過數位孿生縮短導入時程

沒有一體適用的自主系統可以適應千變萬化的場景，但場域主總是期待在導入機器人之前就能評估效益、毋須邊做邊改。還好有數位孿生（digital twins）技術可以在虛擬環境訓練並模擬自主系統和場域內的各種動態參數，比如用 NVIDIA Omniverse 模擬不同產線和倉儲空間，搭配不同 AMR 的單位產能，並根據感測器回傳的影像即時更新圖資。

研華的自主系統與機器人方案，就是要回應上述的產業需求。

▼自主系統專用的邊緣運算與感知方案

邊緣運算與 AI

有別於通用的運算器，研華針對自主系統設計「專用」機種，依據機器人和場域種類及 AI 算力需求分級分類，有以下主要特色：

多元運算平台與外型規格

研華 AFE 和 ASR 系列機種囊括 NVIDIA、Intel、Qualcomm、Rockchip、NXP 等運算晶片。不論外型規格為單板或帶殼的系統產品，均依照以下的設計標準，確保一致的使用者體驗，方便客戶產品迭代。

文 | 研華科技 自主系統與機器人事業部
市場開發經理 劉宜鑫

最適、可擴充的 AI 算力

不同場域情境的 AI 應用，對資料的吞吐量、延遲、成本和功耗等指標需求不盡相同。研華提供不同配置的測試數據，協助客戶分配運算資源，包括 CPU 內建之 iGPU 或 NPU、擴充型的 NPU、適用小空間之 MXM 類型 GPU 等等，均可靈活運用。

即時 (Real-time) 通訊與運算

運算器硬體之設計，可優化 EtherCAT、Acontis 等即時通訊軟體性能，滿足較嚴格的即時性需求。此外，預裝的 Ubuntu 作業系統，也包含了開源的 Preempt_RT 或

Xenomai_RT 即時運算套件，讓作業系統也可以確保相當程度的即時性。

根據全球客戶回饋而生巧思

- 靜電保護：凡是帶殼的系統類產品，均有 TVS 二極體，避免靜電放電 (ESD 事件) 損害系統，保護係數為業界標準之 200% 以上。
- 9-36V、12-24V、20-28V 等直流電寬壓設計，適合電池供電，以及方便較大型無人載具之啟動電火設計。
- 小體積、系統與數位接地線分離、至少 -20 °C 至 60 °C 之寬溫設計等。

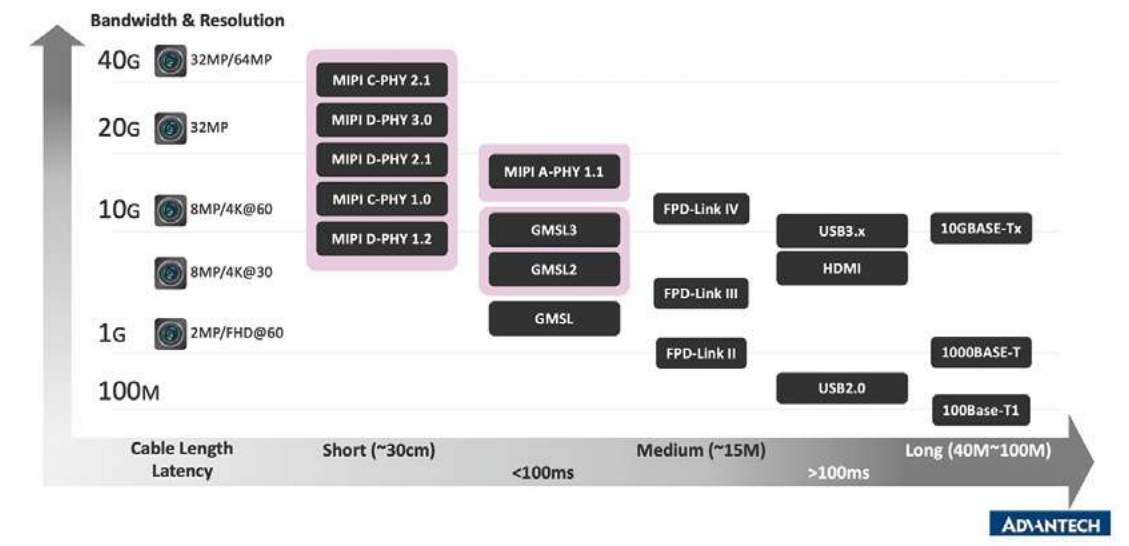
尺。這類型的高階攝影機，過去多由消費性電子廠或車廠根據特定運算器開發，導入成本高昂，並不相容多數邊緣運算裝置，令中小型的機器人開發者望而卻步。

研華深知此技術落地的阻礙，故與各區域主要攝影機廠商和晶片商合作開發，由作業系統內核 (kernel) 開始，逐步打通技術藩籬，讓開發者可於作業系統和 ROS (Robot Operating System) 直接取用影像，解鎖高階的影像傳輸技術。

高精度慣性感測模組 (IMU)

IMU 為機器人必要感測器，有 3D 陀螺儀、加速度計等偵測自身姿態。尤其在顛頗或戶外環境中，還要利用感知融合 (Sensor Fusion) 技術，納入磁力計、氣壓計、GNSS、輪速計等資訊，以便校正定位誤差。研華與全球頂級 IMU 廠商合作開發，供客戶選配 IMU 模組、嵌入在系統產品的主機板中，避免電磁干擾，穩定傳輸品質。

高解析、大頻寬、低延遲的影像傳輸技術



軟體開發支援

Robot Operating System (ROS)

ROS 為主流的機器人開發環境。研華的 Robotic Suite 開發工具包，相容於所有 AFE 和 ASR 系列機器人專用控制器，內含最新 Ubuntu 版本的 ROS2 和常用的導航、定位等開發套件，最重要的是有攝影機、IMU、

LiDAR 等感測器的 ROS 節點。

Robotic Suite 的所有工具，均已打包成 Docker container，可直接以容器運行。研華也開發可跨運算平台取用底層硬體元件的 SUSI API、Modbus 與 OPCUA 資料採集、錄製 Rosbag 的資料庫等貼心小工具。

可擴充、模組化的多元平台選擇



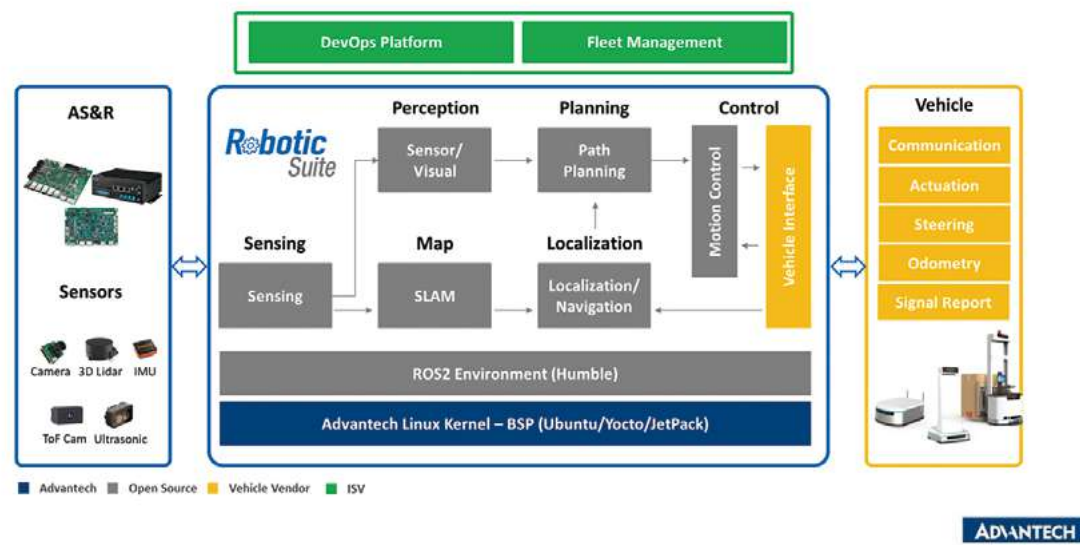
感知融合

研華自主系統專用機的另一特色，就是確保相容於高階的視覺和定位感測器，並與夥伴合作提供定位感知融合方案。

X86 與 Arm 運算器均支援 MIPI-CSI 與 GMSL

前文提到，MIPI 和 GMSL 攝影機均有高解析度、大頻寬、低延遲等優勢。MIPI 有傳輸距離不足的缺點 (約在 15 公分以內)，但藉由 GMSL 則可以將傳輸距離延長到 15 公

研華 Robotic Suite 完整打包易用軟體開發資源



AI 佈署與多機管理

試想數十台機器人在同一場域，或是上百台機器人在多個跨網段的場域運行，時不時需要更新自主系統和 AI 應用，會是多大的管理工作？好在研華深耕物聯網軟體多年，有成熟的方案協助客戶。主要功能有：

- AI 應用與 ROS Container 佈署和效能監控
- 遠端更新 (OTA)
- 跨運算平台 (如 NVIDIA 和 Intel) 機種管理
- 感測器即時影像監控、緊急 AMR 遙控
- 多帳號權限管控、自動異常告警、排程批次管理

資訊安全與功能安全

資訊安全議題無所不在。近年來，物聯網、關鍵基礎設施、工業自動化和控制系統均奉 IEC 62443 為圭臬，研華亦針對邊緣裝置的底層軟硬體，應用 Secure Boot、TPM/fTPM 等技術設計一套符合 IEC 62443 的對

策。其中，多數機器人開發者使用的專業級 Ubuntu 作業系統 (Ubuntu Pro) 提供包括 ROS、real-time 套件等自主系統必備開源套件的 10 年期安全性更新，可大幅釋放維運人員的壓力。

機器人要穩定運作，靠的是各個次系統、模組、軟硬體之間的備援機制 (failover，某元件故障仍能運作) 或失效模式 (fail-safe，避免或減少故障肇生的傷害)。機器人製造商要符合如 ISO 61508、ISO 26262、ISO 22737 等安全規範，實屬不易，往往需要和不同供應商合作，在自主架構初期就有完整規劃。

▼ 讓更多開發者適應更多情境

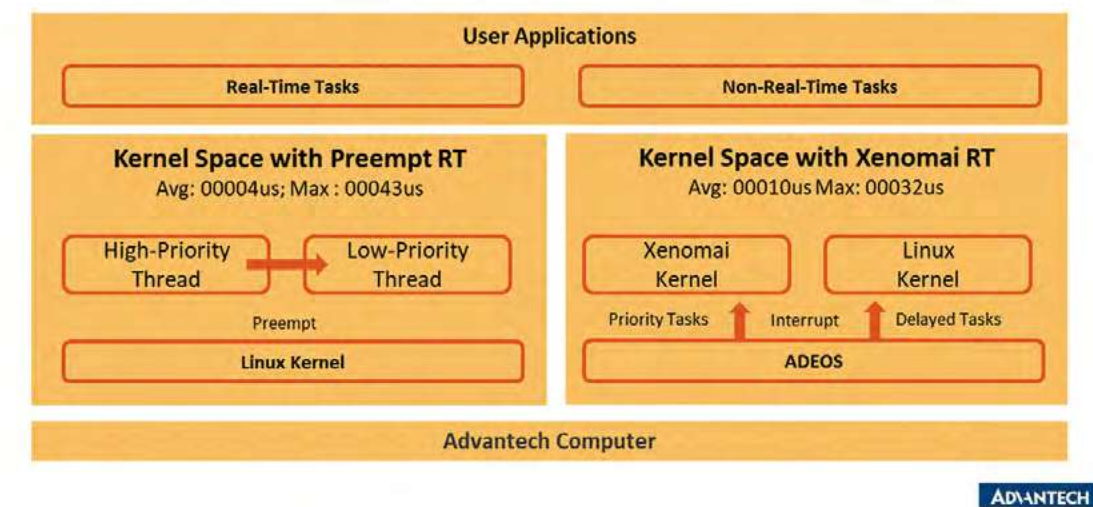
機器人產業正要起飛，亟需突破關鍵瓶頸。需求遍地開花，但場域情境破碎；AI、運算、感知、定位、控制等技術突飛猛進，偏偏中小型的開發者未必有足夠能力應用整合。

Ubuntu Pro：ROS 與 Real-time 套件 10 年安全性更新

	UBUNTU LTS	UBUNTU PRO (INFRA-ONLY)	Ubuntu Pro
ROS ESM	No	No	Yes
Kernel Livepatch	No	Yes	Yes
Systems management at scale with Landscape	No	Yes	Yes
Real time kernel	No	Yes	Yes
NIST-certified FIPS crypto-modules	No	Yes	Yes
USG hardening with CIS and DISA-STIG profiles	No	Yes	Yes
Common Criteria EAL2	No	Yes	Yes

ADVANTECH

研華 AS&R 控制器整合 Real-Time OS 套件



ADVANTECH

研華作為邊緣運算提供者，戮力實踐三大關鍵策略：

- 開放標準：針對不同的應用情境，如無人載具、人形機器人、商用無人機等，依據常見的感測器組數和算力需求，研發並開放不同的外型規格 (form factor)，期許同業響應。如此，機器人製造商就毋須為

不同情境、不同世代的產品，從頭配置自主系統，僅需選用核心運算器即可。

- 打造自主系統與機器人生態系：期許攝影機、LiDAR、IMU、馬達控制器廠商，加入研華與晶片、作業系統提供者的行列，推動技術整合，讓專精於各場景的系統整合商和軟體開發商易於配置最適的運算

和感知系統，再分別對不同的場域組裝、調教專業的機器人。

- 耕耘開發者社群：研華為全球首個贊助 Open Source Robotic Alliance (OSRA，即 ROS 的治理社群) 的邊緣運算提供者，也是開源自動駕駛軟體平台 Autoware 基

金會的成員，將持續與各區域的產學開發者交流，解決社群面臨的痛點。

研華邀請客戶、夥伴和學研各界一齊努力，加速產業發展與創新。

推動開放標準，便利客戶產品迭代

ASR-A300 Series	ASR-A500 Series	ASR-A700 Series
< 4 sets of sensors	4-8 sets of sensors	8-16 sets of sensors
Camera, 2D LiDAR, Ultrasonic	Camera, 2D LiDAR, Ultrasonic, ToF Cam	Camera, 2D LiDAR, Radar, ToF Cam
IMU, GNSS	IMU, GNSS	IMU, GNSS, 4K Cam, Optical Flow

結合生態系夥伴，加速產業創新

Equipment Builder or System Integrator	MIRLE, TM, Hanuwa Robotics, Bjuu, HYUNDAI ROBOTICS
Software Solutions and Services	NODE, X-BOW, TURING DRIVE, cogniteam, TIER N, Agtonomy, 3Laws
Tools and Resources	open source robotics alliance, THE AUTOWARE FOUNDATION
Operating Systems	Windows, ubuntu®
Edge Computing and AI	Qualcomm, NVIDIA, intel, NXO, Rockchip, HAILO
Sensors and Controllers	Camera: e-con Systems, Samsam, oToBrite, ORBBEC, intel REALSENSE, D3, APPROPHO LIDAR: SICK IMU: xsens Localization: FIXPOSITION Motor: Orientalmotor

ADVANTECH

Smart Industry, Smart Life!

ROBOT WORLD 2025

R O B O T W O R L D

NOV 5 ~ 8, 2025, KINTEX, Hall 1~3

20th

Hosted by



Ministry of Trade,
Industry and Energy

Organized by



KAR
Korea Association of
Robot Industry



KIRIA
KOREA INSTITUTE FOR
ROBOT INDUSTRY ADVANCEMENT



ICROS
Institute of Control, Robotics and Systems



智慧製造中的 AI 關鍵技術

在工業 4.0 與數位轉型驅動下，全球製造業正迅速邁向智慧化、自動化與永續發展的新時代。人工智慧、邊緣運算、機器人整合與工業平台解決方案等關鍵技術，正逐步改變傳統製造流程的運作模式，為產業帶來前所未有的效能與彈性。然而，如何將這些技術有效整合至現有產線、並兼顧系統穩定性、安全性與可擴展性，成為企業在數位轉型路徑上的重大挑戰。本文以智慧製造領域的實踐策略為核心，說明西門子如何透過模組化、高度整合與開放性設計的解決方案，協助企業克服導入門檻、落地新興技術，進而實現智慧製造的核心價值。

文 | SIEMENS 西門子股份有限公司

▼工業環境中人工智慧的挑戰與應用實踐：西門子之策略與實例

人工智慧（Artificial Intelligence, AI）在工業場域中的應用，與其在家庭或一般商業環境中的應用具有根本性差異。工業級 AI 需能於高度嚴苛的作業條件下穩定運作，並滿足安全性與品質的嚴格標準；同時，還需具備處理大量機器數據與辨識複雜運作模式的能力。這些能力使 AI 成為推動企業數位轉型的關鍵技術，進一步提升營運效率並支援永續發展目標的實現。

AI 在工業場域的應用需應對複雜環境與高標準要求。西門子憑藉其跨產業經驗與智慧工廠平台，開發出多項 AI 解決方案。例如：預測性維護系統結合生成式 AI 技術（如圖一所示），可監測設備狀態並預測潛在故障，減少非計畫性停機並降低維護成本。

同時，西門子結合 PLC 與 IPC 的 AI 平台（如圖二與圖三所示），支援瑕疵檢測、物件

辨識等應用，並可與機械手臂整合執行隨機撿取任務，顯著提升製造彈性與智慧化程度。這些實例顯示，AI 不僅提升營運效率，也推動永續目標實現。

綜上所述，AI 技術正逐步重塑工業運作模式，並成為企業實現數位化與永續轉型的核心引擎。西門子致力於將先進的 AI 技術轉化為可快速部署、具高度適用性與可擴展性的工業級解決方案，使更多企業能有效導入並發揮 AI 在智慧製造中的潛力，加速轉型進程，邁向智慧與永續未來。



圖二、西門子 PLC 與 AI 結合概念示意圖



圖一、預測性維護結合生成式 AI 技術概念示意圖



圖三、西門子 SIMATIC BX-35A 等 IPC 專為 AI 人工智慧設計，內建 NVIDIA GPU

▼邁向智慧製造新世代：西門子邊緣運算在數位轉型中的關鍵角色

工業自動化與智慧製造持續推進，企業在數位轉型過程中面臨資料量持續增加、網路延遲與系統即時反應的多重挑戰。傳統仰賴雲端計算的架構，雖具備彈性與可擴展性，卻在實際生產場域中常因頻寬限制或延遲問題，無法即時支援關鍵決策與即時控制。

為應對上述挑戰，西門子的邊緣運算 (Industrial Edge)，已成為工業 4.0 實現路徑中的核心技術之一。將資料處理與分析能力下放至靠近生產設備的邊緣裝置，能有效提升反應速度、強化系統可靠性，並減少對雲端資源的依賴，進而加速企業數位轉型步伐。

西門子 Industrial Edge 結合工業級硬體設計、靈活的應用程式部署機制與集中管理能力，構建出模組化且可擴展的運算架構（如圖四所示）。其支援多樣化邊緣設備，包括內建邊緣運算功能的 SIMATIC HMI（人機介面）、工業電腦（IPC）及虛擬化環境。這些設備皆遵循高標準的工業資安規範，具備如安全啟動機制、無 root 存取權限等防護設計，確保在嚴苛產線環境中的穩定與安全運行。

在軟體層面，使用者可透過 Industrial Edge Marketplace 購買、部署或自行開發邊緣應用程式，應用範疇涵蓋資料蒐集、即時分析、AI/ML 模型執行等，支援超過九成的自動化系統架構。西門子亦提供如 Mendix 等低程式碼平台，協助開發者快速打造符合特定場景需求的應用，進一步降低開發門檻。

總結而言，西門子 Industrial Edge 平台不僅成功將 IT 能力深度整合進工業現場，更以其開放性生態系與強大管理功能，成為企業邁向智慧製造與數位轉型的重要推手。

▼機器人整合平台於現代工業自動化中的應用：SIMATIC Robot Library 與 SIMATIC Robot Simulator 的實踐與展望

智慧製造與工業 4.0 的快速推進，機器人技術已逐步成為現代工業自動化系統中不可或缺的核心要素。從重複性作業的自動執行到複雜製程的智慧調度，機器人在提升製造效率、穩定產品品質及減少人力依賴等方面扮演關鍵角色。然而，當前市面上各大機器人品牌多採用專屬的程式語言與操作介面，這不僅提高整合與維護的複雜性，也限制了不同設備間的互操作性與系統可擴展性。因應這樣的產業挑戰，如何實現一套能跨品牌、統一且高效的機器人整合平台，成為製造業進一步升級自動化系統的關鍵。

為解決此問題，西門子推出整合於 TIA Portal（Totally Integrated Automation Portal）之下的 SIMATIC Robot Library（如圖五所示），作為實現機器人整合與簡化工程開發流程的重要解決方案。該平台以使用者為導向，強調操作一致性與技術可擴展性，使工程人員無需深入熟悉各家品牌的專屬工具與語法，即可透過單一介面完成機器人之規劃、編程、模擬與操作，顯著降低學習門檻與開發成本。其跨品牌整合能力涵蓋 UR、Yaskawa、Stäubli、COMAU 等機器人品牌，使多樣化設備的協同運作成為可能。



圖四、邊緣運算概念示意圖

為配合機器人應用開發初期及技術人員培訓需求，西門子同步推出 SIMATIC Robot Simulator，此一虛擬機器人控制器（Virtual Robot Controller, VRC）基於 SRCI（Standard Robot Command Interface）標準架構設計，支援多品牌機器人的行為模擬與控制邏輯驗證。使用者可在無需實體機器人的情況下，於虛擬環境中撰寫、測試並優化程式，大幅降低開發風險與測試成本。該模擬器不僅可進行不同品牌間的協同模擬與虛擬調試，亦支援與西門子多項數位工具如 TIA Portal、SIMIT 及 PLCSIM Advanced 等整合，提供從控制邏輯至運動行為的完整模擬能力。其應用範疇涵蓋虛擬驗證、操作人員訓練、生產線排程模擬以及效率評估等，有助於企業在前期即優化機器人佈局與資源配置。

展望未來，SIMATIC Robot Library 與 Simulator 將進一步與數位雙生、雲端平台及 AI 優化演算法深度整合，持續提升機器人控制的智慧化與應用層級，推動製造產線邁向更高彈性、智能與效率的全新境界，為工業自動化的全面升級提供穩定技術支撐。

▼智慧製造平台於數位轉型中的應用與價值：從地端到雲端

導入智慧製造的過程中，企業普遍面臨挑戰，包含如何有效整合來自不同設備與系統的數據、如何兼顧現場資料處理的即時性與雲端計算的可擴展性，以及如何降低人工智慧與大數據分析技術的導入門檻。針對上述問題，西門子提出以「地端與雲端協同」為核心的智慧製造解決方案（如圖六所示），整合邊緣運算平台（Industrial Edge）與雲端工業物聯網平台（Insights Hub），建構出一套模組化、可擴展且具高安全性的數位生產體系，協助企業有效推動數位轉型。



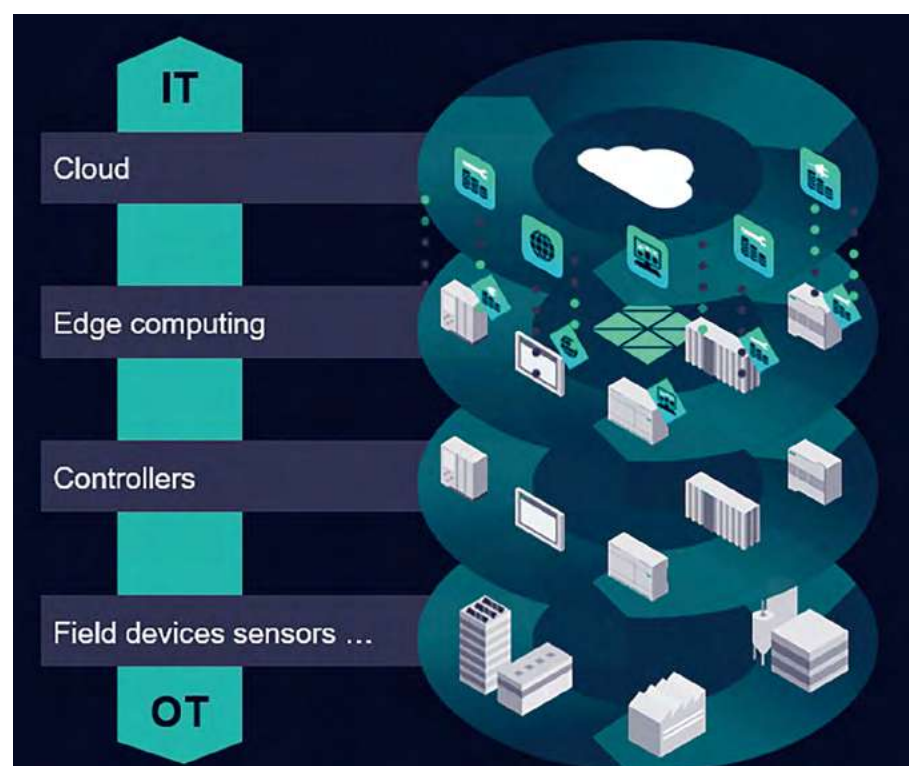
圖五、SIAMTIC Robot Library 與 Simulator 概念示意圖

西門子的智慧製造平台融合先進資料分析能力與高度彈性的生產結構，藉由地端與雲端平台的架構，實現從現場即時資料取得到雲端整合分析的完整數位鏈。地端部分，Industrial Edge 是一項專為製造現場設計的邊緣計算平台，能在設備本地即時處理數據，減少延遲並支援快速決策，同時具備彈性部署與模組化管理能力，能有效對應不同規模與場域的應用需求。此外，其安全性設計亦涵蓋從資料傳輸到儲存的全面性防護，並支援 AI 模型的快速導入，讓企業可直接於現場部署預訓練模型，達成即時監控與智慧化生產之效。

雲端部分，Insights Hub 作為一個開放式、可擴展的工業物聯網平台，負責整合來自

多元設備的資料，進行集中處理與高階應用開發。該平台透過 MindConnect 元件實現與現場設備的安全連接，並具備長期儲存與資料分析整合能力，可支援預測性模型建立與營運優化決策。同時，Insights Hub 採取開放架構，允許第三方應用進行整合，並提供開發工具以利企業打造客製化解決方案。平台在資安設計上亦符合國際標準，能確保在高度敏感的製造環境中維持資料的完整性與合規性。其應用涵蓋設備監控、能源管理、品質追蹤與預測性維護等，有效幫助智慧工廠建構。

此架構已應用於多個智慧工廠專案中，協助企業透過儀表板監控營運、提前預警設備異常，並結合 AI 進行製程優化，全面提升營運透明度與資源配置效率。



圖六、智慧製造平台概念示意圖

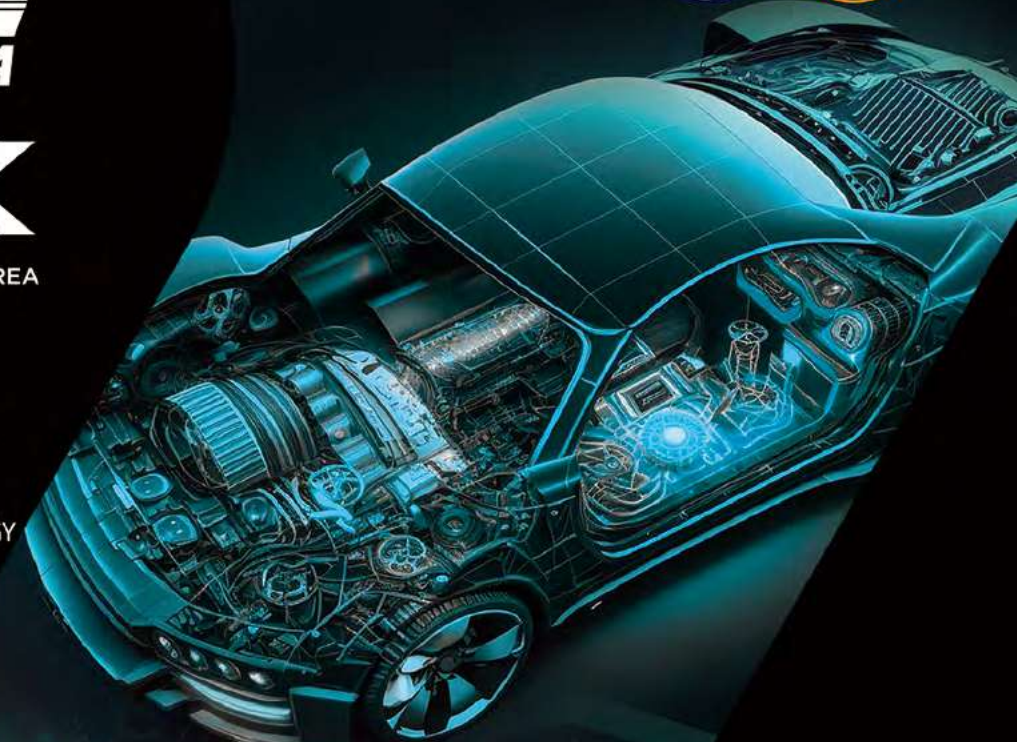


EMK

ELECTRONICS MANUFACTURING KOREA

SMT/PCB & NEPCON KOREA
S-FACTORY & ROBOTICS TECHNOLOGY
HIGHLY-FUNCTIONAL FILM TECHNOLOGY
PHOTONICS SEOUL
PE & ELECTRONIC MATERIALS TECHNOLOGY



AUTOMOTIVE ELECTRONICS TECHNOLOGY
EV, HEV & FCV TECHNOLOGY
AUTOMOTIVE LIGHTWEIGHT TECHNOLOGY
AUTONOMOUS DRIVING TECHNOLOGY
AUTOMOTIVE SOFTWARE

AUTOMOTIVE WORLD KOREA

Hall A, coex

8(Wed) - 10(Fri), April, 2026

Organized by

RK K FAIRS

K FAIRS
EVENT ORGANIZER

SMIA

Contact

T. 82-2-555-7153 E. haileychoi@kfairs.com, khkim@kfairs.com, jymyung@kfairs.com



新漢集團子公司創博（NEXCOMRoboticsSolutions）總經理沈倩怡

創建 AI 與功能安全的 機器人生態系： 引領產業邁向 智慧新紀元

文 | 創博股份有限公司

▼從開放平台建構，實踐機器人應用落地

在機器人應用日益普及的浪潮中，我們面臨一項關鍵挑戰：如何在提升機器人運行速度與效率的同時，確保它們能與人類在同一空間中安全、流暢地協作？新漢集團子公司創博（NexCOBOTRoboticsSolutions）總經理沈倩怡指出，這正是未來機器人發展的核心命題。創博致力於提供從平台建構到實際落地應用的全面解決方案，旨在打造一個兼具 AI 智慧與功能安全的機器人生態系。

▼協作與安全：新型機器人時代的雙重考驗

過去，工業型機器人主要在安全柵欄內與人員分隔運作。然而，隨著技術演進，市場對體積輕巧、成本效益更高的新型機器人需求日益增加。這些協作型機器人（Cobot）、自主移動型機器人（AMR）、四足機器人（Quadruped）以及人型機器人（Humanoid），能與人員共處互動，有助於企業提升產能並降低製造成本。

當安全柵欄被移除後，如何在保障人員安全的同時，仍能維持機器人的高效運作，這正是當前智慧工廠所面臨的重要課題。

▼功能安全：創博的堅實技術後盾與 TÜV 國際認證加持

新漢旗下的創博（NexCOBOT），作為機器人控制與運動控制技術的領先提供商，具備解決人機協作安全難題的卓越實力。創博總經理沈倩怡強調，機器人若要與人類在共處環境中安全運作，其所配備的安全感知器與安全控制器，皆須通過國際認證以確保公信力。

創博深耕功能安全領域多年。早在四年前，即與英特爾合作開發了全球首個基於 x86 架構的功能安全解決方案，專為機器人安全控制器設計。此方案完全符合國際標準化組織



創博與德國合作夥伴 Sysgo 以及 BOTFELLOWS 共同打造最高安全等級的機器人動態安全協作空間

(ISO) 制定的 ISO10218 工業機器人功能安全標準，並達到 SIL2 / PLd / Cat.3 等級的高階功能安全要求。透過創博推出的機器人模組化功能安全套件，業者可大幅縮短開發時程，同時節省高額研發成本，避免自行認證通常耗時五到六年且需大量資金的挑戰。

此外，創博更與德國合作夥伴 Sysgo 以及 BOTFELLOWS 攜手，共同打造最高安全等級的機器人動態安全協作空間。



創博所開發的模組化機器人控制核心與周邊元件框架能顯著縮短開發時間、減少開發資源投入，並加速機器人上市時間與產品迭代升級週期

▼ AI 應用與一體化平台：加速智慧製造落地

在 AI 應用領域，創博積極與客戶合作，共同開發先進的 AI 視覺辨識解決方案。例如，AI 物件分類技術可應用於資源回收與自動化廢棄物分選等場景；而瑕疵檢測則已實際導入台灣一線電子大廠的生產線，用於檢測成品製程中的缺陷與表面瑕疵。

傳統機器人系統架構常面臨控制器、AI 視覺處理主機與安全控制器由三台不同硬體



創博 SCB100 以及 ESC210 功能安全控制器可搭載於各類工業協作型及移動式機器人、四足機器人、人形機器人等產品

設備構成的挑戰。為此，創博推出了具備模組化與高度可擴充性的硬體平台。這個創新平台能將機器人運動控制、AI 視覺模組與功能安全控制整合於單一高運算力設備中，實現真正的 all-in-one 解決方案。這不僅顯著降低了系統架構的複雜度，更有效減少了所需的設備數量。例如，創博的 SCB100 及 ESC210 功能安全控制器，便可搭載於各類工業協作型、移動式機器人，乃至四足機器人與人型機器人等產品。

▼ 開放式生態系與模組化策略：推動產業創新與客戶價值

創博總經理沈倩怡強調：「我們始終秉持的是開放式、模組化的路。」創博獨特定位為 **「不做機器人本體的機器人公司」**，專注於設計機器人的「大腦」——即控制器。我們提供多元且靈活的機器人解決方案與對應的控制平台，廣泛適用於從工業協作型、自主移動型到四足機器人與人型機器人等各種類型。

為打造完整的開放式機器人生態系，創博早在 12 年前即投入自主研發，採用開放式 EtherCAT 通訊協議，並開發自有 EtherCAT 主站控制器及相關產品。這種開放架構與模組化設計極大化了二次開發的彈性，客戶可將自行開發的運動控制演算法部署於創博的 EtherCAT 平台上，有效降低溝通成本與試錯時間。

此外，為應對近期興起的人型與多足機器人應用，創博更推出了機器人控制平台與安



創博 (NexCOBOT) 德國先進機器人夥伴 Synapticon 的 ActilinkJD 機器人關節結合創博的控制器，共同打造高效安全的機器人解決方案

全關節模組等套件，協助客戶快速打造多種構型產品，加速創新落地。這種安全與非安全模組分離的模組化設計，即使在高度客製化的情況下，也能確保系統安全不打折扣。

▼ 卓越人才與深度服務：創博成為您最可靠的機器人解決方案夥伴

機器人系統的複雜性，要求從硬體、軟體到特殊加速、記憶體處理等每一處細節都必須精準到位。創博 (NexCOBOT) 正是憑藉其強大的技術實力與卓越的專業人才，為機器人產業提供堅實的後盾與支持。

創博總經理沈倩怡指出，從新漢到創博，12 年來團隊堅持軟硬體的自主研發設計。更關鍵的是，團隊成員平均擁有 10 到 20 年的機器人領域豐富經驗，這使得我們能為客戶提供更細緻、即時的客製化與顧問服務。這份獨特的專業深度，正是創博成為業界最可靠合作夥伴，助力各大企業在機器人領域取得卓越成就的關鍵所在。



From Edge to Action: Paving the Way for the Next Generation of Robotic Innovation

▼ From Fixed-Function to Human-Centric: The Robotics Journey

Robots are no longer just mechanical arms bolted to factory floors—they are evolving into teammates, helpers, and even companions in our lives. The future of robotics is a journey from fixed-function machines (like single-task industrial bots) to collaborative robots and onward to humanoid helpers that can engage with us on our terms. Each stage of this journey adds greater capability and a greater need for **relatability**. Tomorrow's robots must be **likable, relevant**, and able to form a relationship with humans because people naturally build empathy even with inanimate objects. In one study, participants felt genuine distress when a small robot was "hurt," engaging the same empathetic brain areas as if a person were suffering mindfood.com¹. This innate response suggests that making robots more human-aware and emotionally intelligent isn't just a nice-to-have – it's essential for their acceptance and effectiveness in human environments mindfood.com¹. We expect these machines to be safe and secure, earning our trust as they work alongside us.

This human-centric perspective comes at a time of surging demand for automation. The global market for industrial robotics was valued at about **\$87.1 billion in 2024** and is projected to nearly double to **\$162.7 billion by 2030**, growing at an 11% annually Research and markets². From automotive assembly lines to e-commerce warehouses, every industry

Ricky Watts
Sr. Director Industrial Solutions
Intel Corporation
<https://www.linkedin.com/in/wattsricky/>

is looking to robots to boost productivity and solve labor challenges. In short, robotics is at an inflection point: machines are becoming more advanced and ubiquitous, **but to truly unlock their potential, they must seamlessly integrate into the human world**. Achieving that means rethinking what robots can do and how they relate to people and building the technological foundation to support this new generation of robotics.

▼ Compute, AI, and Sensing: Robotics Foundation

The remarkable evolution of robots from simple automatons to intelligent collaborators has been made possible by decades of progress in computing, AI, and sensing. The robots of tomorrow stand on the shoulders of the technologies of today and yesterday. Powerful processors, advanced sensors, and machine learning algorithms form the **foundation of modern robotics**, enabling machines to perceive their environment, make decisions, and act in real-time. It's useful to think of a robot as having a **"brain," a "nervous system," and a "heart"** powered by technology. The "brain" is high-performance computing – CPUs and GPUs that execute complex algorithms and AI models to give the robot intelligence. The "nervous system" is a network of sensors, actuators, and real-time communication links that coordinate perception and motion, like nerves synchronizing a body's reflexes. The "heart" can be viewed as the resilient core systems (power management, safety, and security features) that keep the robot running reliably and safely.

Bringing all these pieces together is no small feat. A sophisticated robot may need to see its surroundings (camera and LiDAR sensors feeding data), think and learn (AI and inference

on powerful chips), and react instantly (real-time control of motors and actuators) all at once. Traditionally, these functions were split among fragmented systems, but the trend now is toward unified architectures that can handle diverse workloads concurrently. Modern robots require compute platforms capable of simultaneously managing heavy AI inference, high-bandwidth sensor data, and strict real-time control loops without missing a beatfile. Consider a warehouse robot navigating a crowded aisle: it must run computer vision to identify obstacles, update its route on the fly, and control its wheels and arms with split-second timing. Achieving this level of coordination demands raw processing power and technologies like time-sensitive networking, TSN (to align sensor inputs and actuator commands in real-time) and virtualization (to safely run multiple OS and workloads simultaneously on one hardware brain).

▼ Smart Factories Powered by Software and AI

The good news is that **the same advances that drove the computing industry – faster processors, ubiquitous connectivity, cloud, and edge computing – are now converging to elevate robotics**.



Smart factories leverage AI-driven insights for real-time decision-making, enhancing efficiency, quality, and adaptability.

High-performance chips are becoming more energy-efficient and embeddable, AI algorithms are more accessible thanks to open frameworks, and sensors are getting smarter and cheaper. These foundational technologies enable robots to transition from rigid tools to adaptable, human-compatible systems.

▼ Real-World Impact: Robots in Action

The impact of this technological convergence is already visible across a range of real-world applications. On factory floors, robots with better "brains" and "senses" take on tasks that were once impossible to automate. For example, in the food and beverage industry, intelligent robotic inspectors can visually scan thousands of products (like yogurt cups or bottle caps) for defects in mere minutes, something a human could never do at such speed or consistency. In one case, an AI-driven vision system was able to **inspect thousands of yogurt tubs daily**, catching issues like missing lids or misprinted codes with high accuracy elementaryml.com³. These edge AI solutions ensure 100% quality control accuracy in packaging lines, improving product safety and

reducing waste. Collaborative robots (cobots) are also increasingly common in manufacturing – working alongside people on assembly lines.

Unlike the big industrial robots of the past that had to be fenced off for safety, cobots use arrays of proximity sensors and quick reflexes to stop or slow down if a human gets too close. This means humans and robots can work together, combining both strengths.

A cobot might hold a part in place while a human worker fastens it; or handle the heavy lifting while the human does the fine-tuning. The result is a boost in productivity and ergonomics, with robots taking over dull, dangerous, or strenuous tasks and freeing people for higher-level work.

In warehouses and logistics centers, fleets of **autonomous mobile robots (AMRs)** are revolutionizing how goods are moved and orders are fulfilled. These robots zip through storage aisles to fetch items, haul pallets, or deliver packages, orchestrated by sophisticated fleet management software. The scale of adoption is rapidly increasing – by 2025, an estimated **4 million commercial warehouse robots** will be

installed in over 50,000 warehouses worldwide Dexory⁴.com, driven largely by the e-commerce boom and the need for faster, more efficient order processing. Anyone who has ordered online has likely benefited from such robots, which can work 24/7, navigating around human workers and forklifts to get parcels out the door in record time. In hospitals and healthcare facilities, similar mobile robots carry linens, medications, and lab samples through hallways, reducing the workload on staff and minimizing human exposure to contagions. Meanwhile, surgical robots assist doctors with precision in operating rooms beyond the steady hand of even the best surgeons, enabling minimally invasive procedures that heal faster. These medical robots combine high-definition 3D vision, sensitive instrumentation, and real-time control – another testament to how foundational technology saves lives via robotics.

Perhaps the most exciting developments are in service and social robotics – robots that directly interact with people in everyday environments. Humanoid robots and other interactive designs are emerging in roles like **eldercare companions, receptionists, and hospitality greeters**. In eldercare, for instance, socially assistive robots can remind seniors to take medication, help them exercise, or provide companionship. Studies have found that such robotic companions can establish long-term relationships with users and help older people live more autonomously at home mindfood.com¹. The key here is not just utility but emotional connection: a robot that can recognize faces, understand speech, and respond with a bit of empathy can alleviate loneliness and support caregivers by keeping residents engaged. In retail and hospitality, you might meet a friendly robot concierge that guides you to the right hotel room or a robo-assistant

that can answer customer questions in multiple languages. These systems leverage advances in **natural language processing and AI** (some even tapping into large language models) to converse and adapt to customer needs. And we should not forget that **autonomous vehicles and drones** are robots, too – they use sensors, AI, and real-time decision-making like any other robot. Self-driving cars, for example, are robots on wheels navigating the open road, and they promise to transform transportation as they become safer and more widespread. Delivery drones in the sky may soon drop packages at our doorsteps. All these examples underscore a common theme: **when robots are equipped with robust intelligence and awareness, they can extend human reach and improve the quality of life in countless domains.**

▼ Enabling the Shift: Intel®'s Role and Vision

Behind this robotic renaissance is a concerted effort by technology leaders to provide the building blocks needed for smarter, more human-centric robots. Intel is aligning its product and architecture roadmap tightly with the evolving needs of the robotics industry. Rather than simply cataloging CPUs, GPUs, and other components as a checklist, Intel's approach is to serve as the **architect of the robot's brain and nervous system**, essentially shaping the blueprint that robotics developers can build upon. This means focusing on the fundamental capabilities that future robots require, such as **computing horsepower, fast and reliable communication, safety, security, and AI acceleration**, all integrated flexibly. Intel is working to give robots a stronger brain (for processing and intelligence), a steadier heartbeat, and a more responsive nervous system. This includes designing processors that can handle heavy AI workloads



Collaborative robots (cobots) work safely alongside human operators, enhancing productivity while ensuring safety.

on-device, adding dedicated neural processing and vision acceleration where needed, and enabling real-time responsiveness so that a robot can react to its environment instantaneously. Equally important, Intel builds hardware-based safety and security features (for example, functional safety mechanisms and secure enclaves) into its chips so that robots behave predictably and their data and operations remain protected from cyber threats. We all want robots we can trust with our well-being, so attributes like fail-safe operation and cybersecurity are non-negotiable. These are areas where leading technology providers, including Intel, continually develop capabilities and integrate advanced features, building on years of experience in mission-critical applications.

One of the transformative ideas Intel is championing is the concept of the **software-defined robot**.



Unified platforms enable robots to manage diverse workloads, from navigation to quality inspection, on a single system.

Just as modern data centers use virtualization to run many services on one physical machine, a single robot can run multiple functions on one computing platform, thanks to virtualization and microservices. Intel's virtualization technology allows, for instance, a navigation system, a vision AI system, and a motion control system

to **share the same processor securely** while ensuring each performs as if it had the whole machine to itself.

This reduces hardware cost and complexity (no need for separate controllers for every subsystem) and makes robots far more adaptable. With a flexible compute platform inside, updating a robot's capabilities can be as easy as a software upgrade. We've already seen demonstrations of this: for example, Techman Robot (a leading collaborative robot maker) showed off a robot that could **switch from one task to another on the fly** – going from a pick-and-place operation to a quality inspection task seamlessly – all because an Intel-based controller was intelligently reallocating computing resources in real-time to whatever workload was needed.

Intel's vision extends to ensuring **real-time coordination** as well. In complex robotic operations, timing is everything – sensors and actuators must operate in lockstep to avoid chaos. Intel® Time Coordinated Computing (Intel® TCC) is one example of a technology that provides precise timing controls at the hardware level so that latency-sensitive tasks (like a feedback loop that keeps a drone stable in gusty wind) get preferential treatment and exact scheduling. By synchronizing data flows and processor timing, Intel helps robots achieve deterministic behavior (the "nervous system" functioning smoothly), which is crucial for reliability. The company also actively supports **open-source and developer communities** in robotics. Intel is a key contributor to the Robot Operating System (ROS2) ecosystem and offers tools like the Intel® Distribution of OpenVINO™ toolkit, which optimizes AI models for Intel hardware. The goal is to let robotics developers leverage Intel's compute innovations efficiently, whether working on a high-performance server

or a power-constrained edge device on the robot. By providing a unified software stack (through the oneAPI initiative, for instance), Intel ensures that the same code can run on CPUs, GPUs, VPUs or FPGAs, abstracting away the complexity of the underlying hardware. These efforts reflect a core philosophy: **Intel isn't just selling chips to the robotics industry but investing in architecture and ecosystems that empower robots to be more capable, adaptable, and human-friendly**. Industry analysts have noted that as demand skyrockets for intelligent machines in robotics, healthcare, and transportation, Intel's hardware expertise positions it well to provide the "*computational backbone*" for these real-time AI-driven systems, Futurum Group⁵.com. In other words, Intel sees where robotics is headed and is aligning its innovations, from low-latency computing to AI acceleration, to drive that future forward.

▼ Building the Future of Robotics Together

As advanced as robotics technology has become, **no company can unlock the next generation alone**. It will take a collaborative effort across the entire robotics ecosystem to fully realize the vision of robots that seamlessly coexist with humans. This means hardware providers like Intel work with robot manufacturers (OEMs and ODMs), software developers, sensor makers, system integrators, and even academia and policymakers. Intel has embraced this collaborative approach, forged partnerships, and participated in industry consortia to ensure all the puzzle pieces fit together. For example, close cooperation with sensor vendors (for cameras, LiDAR, etc.) and real-time operating system providers help ensure that Intel's platforms interface smoothly with critical components of a robot.

Joint innovation projects – often showcased at industry events and trade shows – allow companies to combine their strengths: a robotics company might bring the domain expertise in, say, warehouse automation, while Intel provides the computing and AI backbone to make it intelligent and scalable. Through the support of open standards and interoperability initiatives, Intel and its partners advocate for common frameworks so that solutions can work together and developers can avoid reinventing the wheel. This ecosystem synergy is essential to avoid fragmentation in the robotics space. When everyone aligns on interfaces and safety standards, a component or software module developed by one player can plug into a system built by another, accelerating innovation for all.

The **next five years** in robotics are poised to bring even more dramatic changes, and a clear **shared vision** is emerging across the industry. In broad terms, the community envisions robots that are smarter, more flexible, and more seamlessly integrated into our world. Specifically, the robots of the near future are expected to:

- **Highly Software-Defined:** Robots will feature modular architectures that allow instant reconfiguration of roles and skills without changing physical hardware. Like updating apps on a phone, a single robot can download new capabilities or switch tasks via software updates.
- **Seamless Edge-to-Cloud Operation:** Robots will leverage computing at the edge and in the cloud. Time-critical tasks will execute on-device (at the edge) for immediate response, while complex analytics or learning can offload to the cloud. This tiered model enables seamless data sharing, collective intelligence, and scalable coordination.

- **Adaptive, Real-Time AI:** Equipped with advanced AI models, including generative AI and large language models, robots will learn from minimal data, understand context, and adapt on the fly. Over time, they will better understand human communication and navigate unpredictable environments.
- **Secure, Real-Time Compute Foundations:** Robots will be built on standardized architectures with safety features, real-time responsiveness, and robust cybersecurity at the core. This ensures consistent performance, data integrity, and user trust, similar to a common "operating system" for robotics.

In essence, **robots are on track to become more human-aware, mission-flexible, and autonomous**, not in a way that replaces humans, but in a way that enhances what humans and robots can do together. They will be partners in our work and daily life, tackling everything from dangerous tasks (involving chemical and mining activities and mundane chores to complex tasks, guided by integrated tech stacks that balance computational complexity with practical performance. Achieving this vision will require continual collaboration. Today's cutting-edge research must translate into the standards and products of tomorrow. It's a journey like the evolution of personal computing or the internet –

a journey of an entire ecosystem moving forward in unison.

Intel's role in this future is to continue enabling and catalyzing innovation at the heart of robotics. **From compute to collaboration, Intel is helping to shape the next generation of robots by shipping silicon and sharing a holistic blueprint for intelligent machines.** By investing in real-time technologies, functional safety, AI integration, and cross-domain platforms, Intel is turning possibilities into reality, providing the brains and nerves so roboticists can focus on building the applications and bodies around them. The invitation is open to all: researchers, startups, industrial giants, and policymakers alike. We must work together to ensure these emerging robots meet society's needs and values. With the right blend of technology and humanity, the coming wave of robots can truly revolutionize industries and improve lives. The mission is clear: **build safe, smart, and scalable robotic systems that redefine what robots can do for everyone.** If we succeed, we won't just have more efficient factories or convenient gadgets; we'll have a new generation of relatable, trusted machines that help humans unlock their full potential. And that future, built on the foundations laid by years of innovation, is one we can start creating today together.

※Intel and the Intel logo are trademarks of Intel Corporation or its subsidiaries. Other names and brands may be claimed as the property of others.

引用資料來源

- 1.Mindfood.mindfood.com
- 2.Research and Markets.researchandmarkets.com
- 3.Elementary.elementaryml.com
- 4.Dexory.dexory.com
- 5.Futurum group.futurumgroup.com

30 CELEBRATING 30 YEARS OF METALWORKING EXCELLENCE 1996-2026

20-23 MAY 2026
MITEC, Kuala Lumpur

METALTECH[®]

Co-locating:
automEX

**30TH INTERNATIONAL MACHINE TOOLS,
METALWORKING & AUTOMATION
TECHNOLOGY EXHIBITION**

METALTECH & AUTOMEX
www.metaltech.com.my

Organised by: **informa markets**

Recognised by: **UFI**

Powered by: **Renewable Electricity**



臺灣智慧自動化人才培育趨勢 與系所發展現況：以國立勤益科技大學 智慧自動化工程系為實例 之產學聯結與育才實踐

文 | 國立勤益科技大學 智慧自動化工程系
助理教授 | 賴嘉宏
國立勤益科技大學 智慧自動化工程系
助理教授 | 彭達仁
國立勤益科技大學 智慧自動化工程系
副教授兼任系主任 | 李榮茂

▼前言

在當今全球產業數位轉型與智慧製造浪潮推動下，自動化技術已不再僅限於單一設備控制與產線自動化，而是進化為結合人工智慧（AI）、物聯網（IoT）、感測整合與資料決策的「智慧自動化」系統（Lee, Bagheri, & Kao, 2015）。臺灣產業長期以中小企業為主體，在面對製程智慧化與人才斷層的雙重挑戰下，技術型大學的角色顯得更為關鍵。尤其近

年「淨零碳排」、「人機協作」、「數位雙生」等議題興起，對應的自動化人才培育亦需快速調整，從過去的「控制+機械」導向，擴展至「資料分析+跨域整合」的新人才模型（Zeller, Hocken, & Stich, 2018；Lu, Morris, & Frechette, 2016）。本文以勤益科技大學智慧自動化工程系為代表案例，透過該系自2022年設立以來的課程設計、教學場域建置、產學合作實例、國際交流活動與學生證照成果等面向，剖析智慧自動化人才養成的關鍵結構與未來發展潛力。透過對系所成立沿革、教學模式與師資實務經驗的深入整理，本研究期望能提供各界更清晰的觀察視角，作為推動我國自動化教育發展的借鏡與參考。

▼貳、智慧自動化的產業轉型脈動

隨著智慧製造、AIoT（人工智慧物聯網）、能源轉型與淨零碳排等全球趨勢日益加劇，臺灣產業正面臨結構性轉型壓力。從早期以單點自動化與人力替代為核心的自動化技術，逐漸演進為整合「人工智慧」、「感測決策」、「數據驅動控制」的智慧自動化架構。企業已不再僅僅追求生產效率，而是強調整體製程的智慧感測、預測控制與碳排治理等複合式最佳化能力。首先，從傳統「控制+硬體」走向「AI+感測+資料決策」，反映出自動化核心邏輯的重大轉變。過去強調的是設備的穩定控制與程序化運作，然而在AI與物聯網技術的帶動下，現代製造現場已要求系統具備感測、判讀與自主決策的能力（Lin et al. 2020）。例如，生產機台需即時辨識材料品質、自主調整參數，並將資料回傳至中央決策平台，形成具備預測與調度能力的智慧

系統。其次，跨域技術整合的實務應用興起。智慧製造現場越來越倚重具備「電、控、機、資」整合能力的人才，必須熟悉 Python 程式設計、CAD/CAM 機構設計、PLC 控制邏輯以及 AI 影像辨識與感測技術的應用。尤其在能源轉型、人機協作與淨零碳排等領域，傳統單一科系難以支撐複合式場域需求，跨領域的整合型課程與系所因此日益重要。最後，數位工具與資料应用能力成為核心職能。在智慧產線或工業 4.0 場域中，操作人員需不僅會使用設備，還需理解資料採集（Data Logging）、狀態監測（Condition Monitoring）、數位孿生（Digital Twin）等工具的運作邏輯與整合方式（Dikhanbayeva et al. 2021）。這種技術轉向也促使教學端重新設計課程內容，以培養能夠在數位環境中快速反應與應變的自動化人才。本波轉型趨勢可歸納為三大方向：

一、技術面轉型：從傳統「控制+硬體」走向「AI+感測+資料決策」

傳統的自動化技術主要著重於設備層級的硬體控制與固定程序執行，例如透過 PLC 實現輸送線、自動倉儲與機械手臂的協調作業。然而，隨著 AI 演算法進入生產現場，加上感測裝置的普及與邊緣運算的實用化，智慧自動化系統逐步朝向「即時感測+智能分析+決策驅動」的方向邁進。舉例而言，工業視覺辨識可即時分析產品瑕疵，結合深度學習演算法判別異常，再透過控制邏輯立即修正製程參數。這類轉變將自動化從「事先規劃好流程」提升為「動態感應、即時調整」的新模式，不僅提升效率，也增加了系統的彈性與智能化。

二、產業應用擴展：智慧製造、能源轉型、淨零碳排與人機協作

在全球產業競爭愈趨激烈的情勢下，自動化的應用範圍不再侷限於工廠內部，而是向多元領域拓展，包括智慧物流、再生能源、綠色製造與高齡社會中的協作型機器人（Collaborative robot, Co-Bots）應用等。例如，台灣中南部的金屬加工產業，開始引入能即時紀錄用電與碳排的監控系統，將節能管理納入智慧製造的一環；再如智慧農業與食品加工產線，也逐漸導入 AI 與 IoT 元件進行遠端監控與彈性排程。在這波浪潮下，「自動化系統是否能夠配合永續目標、提供即時數據決策能力」成為企業導入方案時的重要指標。因此，智慧自動化不僅是提升效率的工具，更是實現 ESG 治理與淨零轉型的策略手段。

三、人才特質演進：具備跨域整合、即戰力與數位工具運用能力

面對複雜應用場景與技術融合需求，傳統單一科別訓練的人才模式逐漸無法滿足業界所需。企業更加重視具有跨域能力的人才，尤其是在機電整合、AI 程式設計、Python 資料處理、邊緣控制器開發（如 Raspberry Pi, Arduino）、與雲端平台整合等方面，皆希望新進人員能「即戰力上線」。此外，數位工具的應用已成為基本能力，如能運用 Siemens NX、Simcenter、AutoCAD、SolidWorks、MATLAB、LabVIEW 等進行設計、模擬與測試，將大幅提升其職場競爭力。因此，大學與技專院校紛紛調整課程模組，

融入專題導向學習、場域實作與證照制度，從基礎到實務全面涵蓋智慧製造的核心技能。

總結而言，智慧自動化已成為臺灣製造與永續轉型的關鍵技術核心，也進一步推動教育體系重新思考技術人才的培育方式。國內若欲在全球供應鏈轉型與地緣競爭中持續占有一席之地，必須強化具備數位轉型視野與應用實力的智慧自動化專業人才培育機制。這也是當前技職教育與自動化系所發展的關鍵契機。

▼參、全國自動化系所發展現況與類型盤點

回顧國內高等技職教育的發展，早期自動化相關人才多由機械系、機電系或電機系中的控制組負責培育，其課程重點聚焦於「自動控制」、「感測應用」與「程控技術」等模組式單元，作為傳統工業系所下的一環。然而，隨著智慧製造、AIoT、數位轉型等新興應用加速推進，跨域整合能力與系統性思維成為自動化人才的關鍵指標（Ejjami, 2024）。因應產業需求與技術演進，近十年來陸續有多所大學將原先設於機械系、電機系中的控制模組「獨立系所化」，成立以「自動化工程系」或「智慧自動化工程系」為名的學術單位（教育部，2020）。例如：

- 國立高雄科技大學於 2019 年整併後設立機電工程系智慧自動化組，延續原機械與自動化工程系之專業脈絡；
- 台鋼科技大學自 1989 年起由「機械工程科（自動控制組）」逐步獨立，演進至現今機械與自動化工程系；
- 大葉大學也從「自動化工程技術系」與

「車輛系」整併形成機械與自動化工程學系，展現科際整合的教育理念。

然而，目前全國擁有智慧自動化名稱的完整獨立大學部系所仍屬稀有。據統計，僅國立勤益科技大學智慧自動化工程系設有以智慧自動化為主軸、並具備日間學士班、碩士班

與實作基地整合的國立科技大學。相較其他僅設置碩士所或專業模組者，本系自大學部即強調跨領域養成，涵蓋控制、感測、機構、通訊與 AI 資料應用，實踐「學用合一」的完整教育體系。依據教育部教師專業發展統計平台資料與各校招生公告，近三年相關系所、學制之招生名額如表一所示：

表一、111-113 年自動化相關系所五專、學士班、碩士班、博士班招生名額彙整表

學制	學校名稱	系所名稱（含組）	111	112	113	總計
博士班	國立臺灣大學	積體電路設計與自動化博士學位學程	-	-	2	2
博士班	國立臺灣科技大學	自動化及控制研究所	1	0	1	2
博士班	大葉大學	機械與自動化工程學系	1	0	0	1
博士班	小計		2	0	3	5
碩士班	國立臺灣大學	積體電路設計與自動化碩士學位學程	-	-	17	17
碩士班	國立臺灣科技大學	自動化及控制研究所	43	42	47	132
碩士班	國立臺北科技大學	自動化科技研究所	57	48	51	156
碩士班	國立高雄科技大學	電機工程系智慧自動化系統碩士班	34	31	34	99
碩士班	國立虎尾科技大學	自動化工程系碩士班	21	27	33	81
碩士班	大葉大學	機械與自動化工程學系	5	7	1	13
碩士班	逢甲大學	自動控制工程系	20	33	23	76
碩士班	義守大學	機械與自動化工程學系	5	9	8	22
碩士班	台鋼科技大學	機械與自動化工程系機電科技碩士班	14	-	32	46
碩士班	小計		199	197	246	642
學士班	國立勤益科技大學	智慧自動化工程系	49	50	39	138
學士班	國立虎尾科技大學	自動化工程系	97	94	92	283
學士班	建國科技大學	自動化工程系	10	-	-	10
學士班	南開科技大學	自動化工程系	37	23	33	93
學士班	台鋼科技大學	機械與自動化工程系	3	3	39	45
學士班	逢甲大學	自動控制工程系	116	119	120	355
學士班	大葉大學	機械與自動化工程學系	50	31	48	129
學士班	義守大學	機械與自動化工程學系	40	50	49	139
學士班	小計		402	370	420	1192
五專	國立臺北科技大學	智慧自動化工程科	30	29	30	89
五專	南開科技大學	自動化工程科	16	11	9	36
五專	小計		46	40	39	125
	總計		649	607	708	1964

根據近三年核定招生人數資料（111～113 學年度），全國智慧自動化與控制類相關系所總計招生人數達 1,964 人。其中，學士班佔 60.7%（1,192 人），為目前主要人才培育階段；碩士班為次要核心（642 人，占比 32.7%），代表產業對進階研發與管理實力之高度需求；五專佔 6.4%（125 人）；而博士班則呈現極低設置（僅 5 人），顯示目前仍多以應用導向與技術整合為發展主軸。

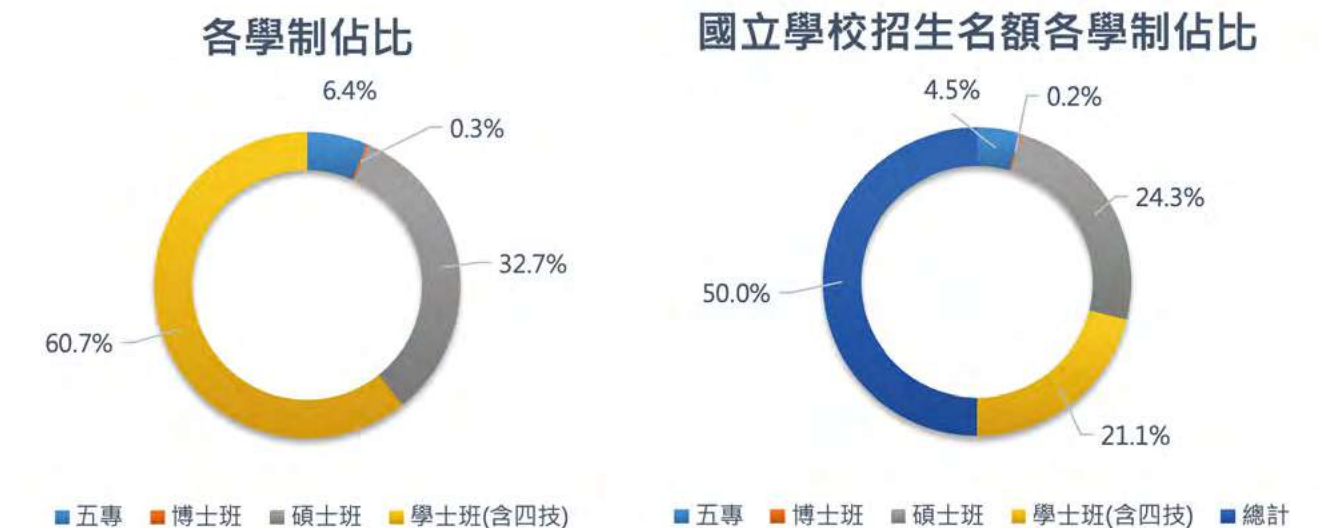


圖 1 111-113 年大學以上自動化人才培育招生名額佔比

圖 2 111-113 年大學以上自動化人才培育國立學校招生名額佔比

學士層級是智慧自動化人才最主要的養成階段，各校課程多涵蓋機電整合、感測技術、控制理論與自動化實務設計，並輔以 AI、IoT 或 Python 等跨域整合技能。以國立勤益科技大學智慧自動化工程系為例，即為全國唯一於國立科技大學中獨立設立之學士班專責系所，四年完整學程架構，並具備乙級「機電整合檢定場地」，提供學生全方位實務訓練與跨域整合能力養成。



圖 3 勤益智動系為目前國內唯一國立科大具備勞動部機電整合乙級技術士術科合格測試場地

碩士班方面，設置以台灣科技大學、台北科大、高雄科大與虎尾科大等技職研究型學校為主，課程設計強調系統整合、智慧製造、控制演算法與跨領域創新。其中，高雄科大設有智慧自動化系統碩士班，與產業聯動性強；而逢甲大學則以自動控制工程系為名，呈現結合電控與 AI 導向的特色。

博士層級目前集中在國立臺灣大學與臺灣科技大學，設置如「積體電路設計與自動化博士學位學程」、「自動化及控制研究所」等，重點研究方向多聚焦於 IC 設計、深度控制系統與自動化核心理論。另有少數私校如大葉大學設有博士學位課程，但整體規模仍屬稀有。

台灣智慧自動化技術發展進入跨域整合新階段，需結合完整學制與教研資源推動人才育成。整體可發現以下狀況：

◆ 國立技職體系：重點培育據點穩定發展

勤益科大以智慧自動化工程系為定位，近三年平均招收約 46 人，具有國立唯一智慧自動化專責學士系之地位。虎尾科大為早期設立之自動化工程系，每年招生近百人，規模為最大。北科大則於五專體系保留「智慧自動化工程科」，提供提早進入技術領域之訓練。

◆ 私立技職與綜合大學：多以「機械與自動化」、「控制工程」作為命名

如逢甲大學、大葉大學、義守大學、台鋼科技大學等校設有「自動控制工程系」或「機械與自動化工程學系」，其學程多為機械系延伸與控制組重構課程模組，課程

設計側重於機電基礎、控制應用與製造導向，具備部分實務研發與設計能力。

◆ 五專學制：縮減中但具職訓系統之基礎功能

目前五專仍保有兩校招生：北科大與南開科大，課程設計導向基礎控制與感測應用技能訓練，適合作為技能扎根之初階路徑銜接後續相關學程與課程。

綜合以上所述，建議政策應支持國立科技大學設立智慧自動化完整碩博士班級，加強學士端與研究所間接軌銜接機制，並強化與產業界聯結，打造更具彈性與深度的培育系統。

▼ 肆、國立勤益科技大學智慧自動化工程系鏈結產業與多元培訓人才現況

一、國立勤益科技大學智慧自動化工程系成立沿革與發展概況

為因應智慧製造、AIoT、數位轉型與機電整合等跨域技術需求日益擴大，國立勤益科技大學於 2021 年正式核定成立「智慧自動化工程系」，成為全國首個以「智慧自動化工程系」為名設立之國立科技大學學士學制系所，並於 2022 學年度招收首屆學生。

智慧自動化工程系是一個融合「機械設計、電控技術、AI 人工智慧、物聯網 IoT」與「數位模擬控制」等技術的新興科系。系所設立之初，即以跨領域整合為核心，課程規劃橫跨自動控制、機電整合、人工智慧、感測技術、IoT 與工業網路，著重智慧產線模擬、AI 影像應用、數位雙生與遠端監控等實務導向學習內

容。與傳統的機械系或電機系相比，本系更加強調跨領域整合與即戰力訓練，學生會學到：

- 機電控制與感測器整合（例如 PLC、CNC、自走車、機械手臂）
- Python 與 C# 程式控制與視覺辨識應用
- 產線模擬與智慧製造模組設計
- AI 人工智慧與邊緣運算應用
- IoT 物聯網與設備聯網技術

2023 年取得勞動部核定之機電整合乙級技術士檢定場地，為全國國立科技大學中唯一擁有該檢定場域之系所。系上師生自成立以來積極投入技能培育、競賽、產學專題與國際交

流，包含：

- 西門子與 OpenMind 捐贈設備場域建置
- 數位尖兵計畫合作（關隆公司等）
- 赴日參與櫻花計畫與諏訪東京理科學技術交流
- 捷克科學院物理研究所學者蒞校交流
- 舉辦及參與國內多場智慧製造與量測論壇

本系現階段以學士班培育為主，強調實務能力、跨域整合與證照導向訓練，逐步發展為中部地區智慧自動化實務人才之重點培育基地，並預備未來發展碩士班、進一步深化研究能量與產業鏈結。

表二、國立勤益科技大學智慧自動化工程系核心證照列表

序號	證照名稱	發證單位
1	自動化工程師 Level 1	台灣智慧自動化與機器人協會（一年兩次）
2	自動化工程師 Level 2	台灣智慧自動化與機器人協會（一年兩次）
3	機器人工程師 初階	台灣智慧自動化與機器人協會（一年兩次）
4	機器人工程師 中階	台灣智慧自動化與機器人協會（一年兩次）
5	中華民國技術士 - 電腦軟體應用 乙級	勞動部
6	中華民國技術士 - 電腦硬體裝修 乙級	勞動部
7	中華民國技術士 - 工業配線 乙級	勞動部
8	中華民國技術士 - 氣壓 乙級	勞動部
9	中華民國技術士 - 機電整合 乙級	勞動部
10	中華民國技術士 - 電腦軟體設計 - C++ 乙級	勞動部
11	中華民國技術士 - 銑床 - CNC 銑床 乙級	勞動部
12	iPAS AI 應用規劃師初級	經濟部產業發展署
13	iPAS 物聯網應用工程師初級	經濟部產業發展署
14	iPAS 智慧生產工程師初級	經濟部產業發展署
15	iPAS 機器學習工程師初級	經濟部產業發展署
16	iPAS 工具機機械設計工程師初級	經濟部產業發展署
17	iPAS 感知系統整合應用工程師初級	經濟部產業發展署
18	iPAS 智慧聯網與工控資安整合應用工程師初級	經濟部產業發展署
19	Certified SolidWorks Professional（CSWP）	Dassault Systèmes
20	人工智慧：機器學習（Python）	中華民國電腦技能基金會

二、證照與競賽導向之人才培育：實作能力與職涯接軌的雙軌並進

在智慧自動化人才培育過程中，證照制度與技能競賽的導入扮演關鍵角色，不僅有助於學生技能認證，更有助於強化職涯競爭力。以國立勤益科技大學智慧自動化工程系為例，系所規劃超過二十項技術證照模組，涵蓋勞動部技術士乙級（如機電整合、CNC 銑車、氣壓控制、電腦軟體設計等），以及多項經濟部 iPAS 認證（如智慧生產工程師、物聯網應用、機器學習、工具機設計等）。隨著產業發展的同時同步進行培育地圖的調整與修正，學生可依照不同職涯發展方向，自主選修並參與「證照學習模組」，逐步建立跨領域技能地圖。這樣的系統性培育，讓學生在學期間即可完成多張核心證照，提升進入智慧製造產業之即戰力。

除了教學與研究成果外，智慧自動化工程系亦積極推動學生專業證照之輔導制度，強化學生進入產業前的實務能力與職場即戰力。系上整合教師專長與實驗室資源，規劃一系列自主學習與分階段培訓模組，協助學生依產業需求考取多項證照。近年來，學生在各類國內外專業認證上皆有亮眼表現，統計至 2025 年上半年，學生總輔導取得證照人次如下：

- 冷作甲級技術士：1 人
- 機電整合乙級技術士：1 人
- 電腦軟體應用乙級技術士：5 人
- TAIROA 自動化工程師：55 人
- TAIROA 機器人工程師：12 人
- Certified SOLIDWORKS Professional（CSWP）：25 人
- TQC+ 機器學習 Python 認證：16 人
- iPAS 工具機機械設計工程師：5 人
- iPAS AI 應用規劃師：10 人



核心證照輔導：機器學習 Python3

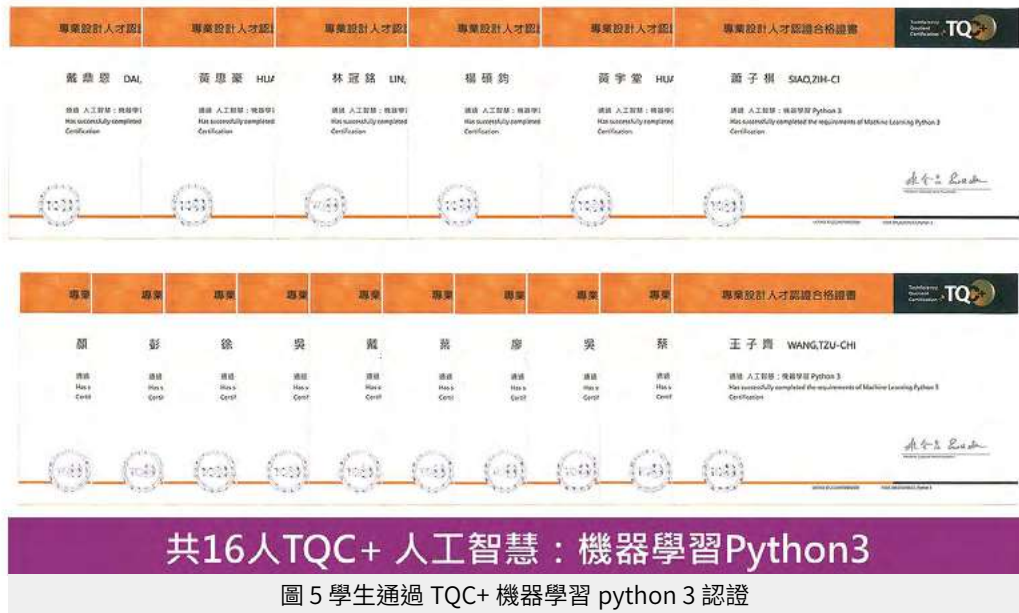


圖 5 學生通過 TQC+ 機器學習 python 3 認證

核心證照輔導：自動化/機器人



圖 6 師生通過智動協會自動化 / 機器人工程師認證共計 67 人次（僅羅列部分名單）

合計總人次達 127 人次，涵蓋從傳統製造技能、軟體設計、機電整合、至 AI 與智慧製造應用，充分展現本系對接「技術士證照 + 智慧職能」雙軌並進的培育策略。透過全系統性的輔導機制與實作導向課程設計，不僅提升學生畢業後的競爭力，也為產業輸送具備證照與實務雙能力的智慧自動化人才。

三、教學實作強化：以「上機考試」實現智慧製造核心能力

在國立勤益科技大學智慧自動化工程系，大二學生的期中考不是紙筆測驗，也不是單純模擬操作，而是面對真實產線與實體機台，完成一整套自動化控制與資料整合任務。此次期中考結合 CNC 加工、C# 程式設計與即時資料擷取，設計五項挑戰任務：

1. **CNC 操作與 G-code 撰寫**：學生需親自將工件上機，設定原點並撰寫 G-code，完成切削任務。
2. **C# 設備通訊程式開發**：以 WinForm 設計人機介面，連接 CNC 機台，成功取得主軸轉速與座標資訊。



圖 7 學生現場以 CNC 機台與 C# 程式整合，實作智慧製造即時監控功能

3. **切削與資料驗證**：將程式設計與實機操作結合，驗證切削執行與資料是否正確連動。
4. **設備監控介面設計**：設計自製 UI 呈現即時狀態數據，並能動態更新。
5. **设计理念簡報**：各組需向老師簡報其介面邏輯與功能規劃，展現工程溝通與設計思維。

實務綜整性評量方式將「G-code 撰寫、感測資料擷取與程式整合」三者三合一，學生不僅操作實體機台，更要跨足通訊協定、數據結構與視覺化呈現，完整體現智慧自動化人才的複合能力。



圖 8 小組進行成果簡報，說明切削流程、程式邏輯與視覺介面設計

四、實務專題亮點：2025 全國技專校院學生實務專題製作競賽

國立勤益科技大學智慧自動化工程系學生團隊於 **2025 全國技專校院學生實務專題製作競賽暨成果展** 中，榮獲「**機械與動力機械群 第二名**」佳績，獲得評審高度肯定與 2 萬 5 千元獎金殊榮。本次競賽由教育部指導，全國技專校院共同參與，作品評比重點包括創新

性、技術整合性、應用性與展示表現。本系參賽作品聚焦於智慧手臂模組與視覺辨識技術整合，涵蓋機構設計、程控邏輯、感測元件應用與 Python 數據處理，充分展現學生跨域整合實力與團隊合作成果。本成果亦反映本系課程設計所強調之「專題導向學習 (Project-based Learning)」、「實作導向評量」與「與產業技術對接」的三大核心精神，為智慧自動化專業人才的培養成效最佳印證。



圖 9 勤益科大智動系榮獲 2025 全國技專校院學生實務專題競賽機械與動力機械群第二名，展示成果並與師長合影。



圖 10 師生於本系彭達仁助理教授指導之「貝葉斯優化於蟻群演算法應用於自動化鍛造噴塗路徑規劃中」成果展示前合影

五、積極推動臺日學研技術交流

國立勤益科技大學智慧自動化工程系積極推動國際化學研合作，特別重視與日本的學術與技術交流。2025 年 4 月本系師生受邀參與由日本科學技術振興機構 (JST) 全額資助的「櫻花科技計畫」，前往日本進行為期一週的實地交流。此次活動同時與中山大學、日本諏訪地區的高校協力推動，成為三方跨校交流的重要里程碑。交流期間，雙方進行實驗室技術展示與學術簡報，每位學生與教師皆須分享各自研究成果與應用技術，涵蓋智慧製造、機電整合、影像辨識與工業自動化等領域，深化雙邊技術理解與研發視角。日本諏訪方面亦安排重點實驗室深度交流與現場觀摩，讓台灣師生得以實際理解當地高校與企業在精密製造與產學連結上的努力。除學術交流外，師生團

隊也參訪當地歷史悠久之企業與工廠，親身體驗日本職人文化與智慧製造現場，瞭解其在永續生產與高品質技術的落實方式。

除實驗室技術交流外，台日雙方也互訪產業據點，並觀摩彼此的教學設備與技術應用，進一步理解各校產學合作模式與實作特色。日本學生與教師展現高度研究素養與學術禮儀，也對本校師生所展現的創新能量與團隊合作精神留下深刻印象。同年七月接待日本學者來訪，進行實驗室參訪與主題座談，就智慧感測、機器視覺與機電整合等研究議題進行深入技術交流。此外，雙方亦就「雙聯學制」辦理的可行性進行初步討論與評估，開啟未來跨國學位合作的可能性。此類實質互動不僅深化台日學研連結，也為學生國際移動與人才培育開創更寬廣的發展舞台。



(左) 圖 11 師生於參與日本國際研討會中發表智慧製造應用相關議題，與國際知名學者進行技術研發交流
(中) 圖 12 師生訪問日本公立諏訪東京理科學進行智慧製造議題分享
(右) 圖 13 日本公立諏訪東京理科學大島政英教授兼任副校長及韓曉宏教授來訪勤益智慧自動化工程系合影



(左) 圖 14 師生進行智慧製造、檢測、預測性防護與分析等相關議題進行深度討論
(中) 圖 15 日本教授來訪於智慧多軸複合技術實驗室參訪與合影留念
(右) 圖 16 日本公立諏訪東京理科學與國立勤益科技大學工程學院商討雙聯學制可行性及評估

六、師生共同參與 ISME 2025 及 NSSSE 2025：推動論壇與應用技術交流

2025 年 5 月，國立勤益科技大學智慧自動化工程系積極參與兩場全國性指標研討會，展現系所於智慧製造、控制應用及跨域實踐的教研能量。首先，在 2025 年 5 月 2 日至 5 月 3 日於國立成功大學舉辦之「第十屆台灣機電工程國際學會全國學術研討會（ISME 2025）」中，本系組成師生代表團參與會議，並主導規劃「智動化手臂與光學影像量測整合論壇」，由賴嘉宏與彭達仁助理教授共同擔任論壇主席，聚焦於手臂協作控制、影像辨識與智慧感測資料整合之應用，並於論壇中展示師生研究成果及實作導向技術。此外，本系李坤穎助理教授亦與彰化師範大學劉晉嘉教授共同主持「ES22_工具機智慧化及低碳化研究

應用論壇」，探討智慧工具機能耗最佳化、碳排放數據評估及製程演算等前瞻議題，對接產業永續轉型之需求。

緊接著於 2025 年 5 月 16 日至 18 日，本系再度參與於國立中興大學舉行之「中華民國系統科學與工程研討會（NSSSE 2025）」，在該研討會中主導兩場重點專場。「智慧低碳製造技術與應用」專場由彭達仁助理教授與中山大學汪正祺教授共同主持，深入探討製程節能與碳管理對接智慧工廠的策略與應用；「智慧量測技術應用」專場則由賴嘉宏助理教授主持，涵蓋非接觸式量測、AI 辨識與邊緣運算技術於製造現場中的落地實證。兩場會議皆有本系學生參與海報與口頭發表，透過產學合作與專題研究展現跨域成果，顯示本系在智慧自動化人才培育與學術實踐上的積極投入與卓越成效。



圖 17 勤益智慧自動化工程系教師與論壇主持人於 ISME 2025 大會現場合影



圖 19 學生參與 NSSSE 2025「智慧量測技術應用特別議程」發表合影



圖 18 學生參與 ISME 2025「智動化手臂與光學影像量測整合論壇」發表合影



圖 20 學生參與 NSSSE 2025「智慧低碳製造技術與應用特別議程」發表合影

七、智慧自動化工程系特色實驗及成果簡述

為因應智慧製造、機電整合與 AI 技術的實務應用需求，國立勤益科技大學智慧自動化工程系建置具備高度產學實作導向的特色實驗室，分別為「智慧多軸複合技術實驗室」與「智慧製造預測與資安韌性實驗室」。兩間實驗室不僅具備完整設備資源與軟硬體整合能力，也與業界進行長期合作，並支援學生參與全國性競賽與技能培訓，成為推動本系智慧自動化教學與實作能力的核心場域。

智慧多軸複合技術實驗室

智慧多軸複合技術實驗室由彭達仁老師指導，聚焦於工業機器人、數位雙生、AI 視覺導引與自動化製造的實作與創新應用。實驗室整合 Siemens NX、Fanuc RoboGuide 等工業級平台，建構「虛

實同步控制模擬系統」，實現機械手臂數位雙身模型與實體機構之雙向同步展示，強化學生對虛擬設計與實體製造整合的理解。其中開發之 **AI 智慧視覺量測巡檢工作站與生成式 AI 導航輔助系統**，已成功應用於校內展示與業界導入。結合感測器資料、生成式模型與現場調度邏輯，打造可即時應變的巡檢流程，展現智慧工廠場域的實作能力。此外，實驗室作品「千噸鍛造震四海，蟻群智導行天下」榮獲第十三屆全國大專 AI 智動化設備創作獎冠軍，展現師生於自動路徑規劃、視覺定位與機械手臂噴塗等技術上的整合能力。配合松讚企業等產學合作案，實驗室亦推動 **CNC 智慧彈性製造系統** 導入實地應用，並開發融合 NVIDIA Omniverse 模擬的 **AI 點雲補全系統**，展現高階 AI 與 3D 感測結合之隨機取物能力。



圖 21 智慧多軸複合技術實驗室之相關簡介及 QR code 連結



智慧多軸複合技術實驗室

智慧製造預測與資安韌性實驗室

智慧製造預測與資安韌性實驗室 (SMPCR Lab) 聚焦於結合感測數據分析、AI 預測控制技術、與工業資安韌性應對機制，建立具備自我調適與攻防應對能力的智慧製造系統。透過整合邊緣運算、非接觸式感測、數位雙生模擬與 AI 演算法驗證，致力於推動人工智慧於智慧製造領域中的預測控制技術、非接

觸式感測分析與工業資安整合應用。本實驗室以「智慧、預測、韌性、整合」為核心價值，建構包含電流感測、數位雙生模擬、AI 分類模型與資安防護的跨域應用場域。本實驗室致力於發展面向未來的智慧工廠預測技術與資安共構架構，期望培養具備預測思維、資安意識與系統整合能力之新世代工程人才。

伍、結語

智慧自動化已成為臺灣產業升級的重要核心，從基礎製造的數位轉型，到高階製程的感測決策，對自動化人才的需求從未如今日般迫切。本文透過勤益科技大學智慧自動化工程系的課程設計、證照制度、產業合作與國際接軌案例，展現出一個具備「即戰力」、「跨域整合」、「實務導向」的教育典範。該系透過自建實驗室、導入西門子智慧產線平台、參與全國技能競賽、指導數位尖兵與地方產業轉型，展現了技專體系在產業鏈結與人才培育上的高度實踐力。未來建議從三大方向深化：其一，加強與區域中小企業的合作，建立長期實習與專題實作機制

(Tabunshchyk et al. 2020)；其二，擴展證照模組與國際標準對接，提升學生全球就業能力 (Kusiak 2018)；其三，推動智慧製造整合碩士班，延伸學術與研究深度，銜接國際研究網絡 (Wu et al. 2015)。若能持續擴大影響，善用校內外資源與國際平台，臺灣將能有效打造出符合未來產業需求的智慧自動化人才，支撐國家智慧製造與淨零轉型之整體戰略。

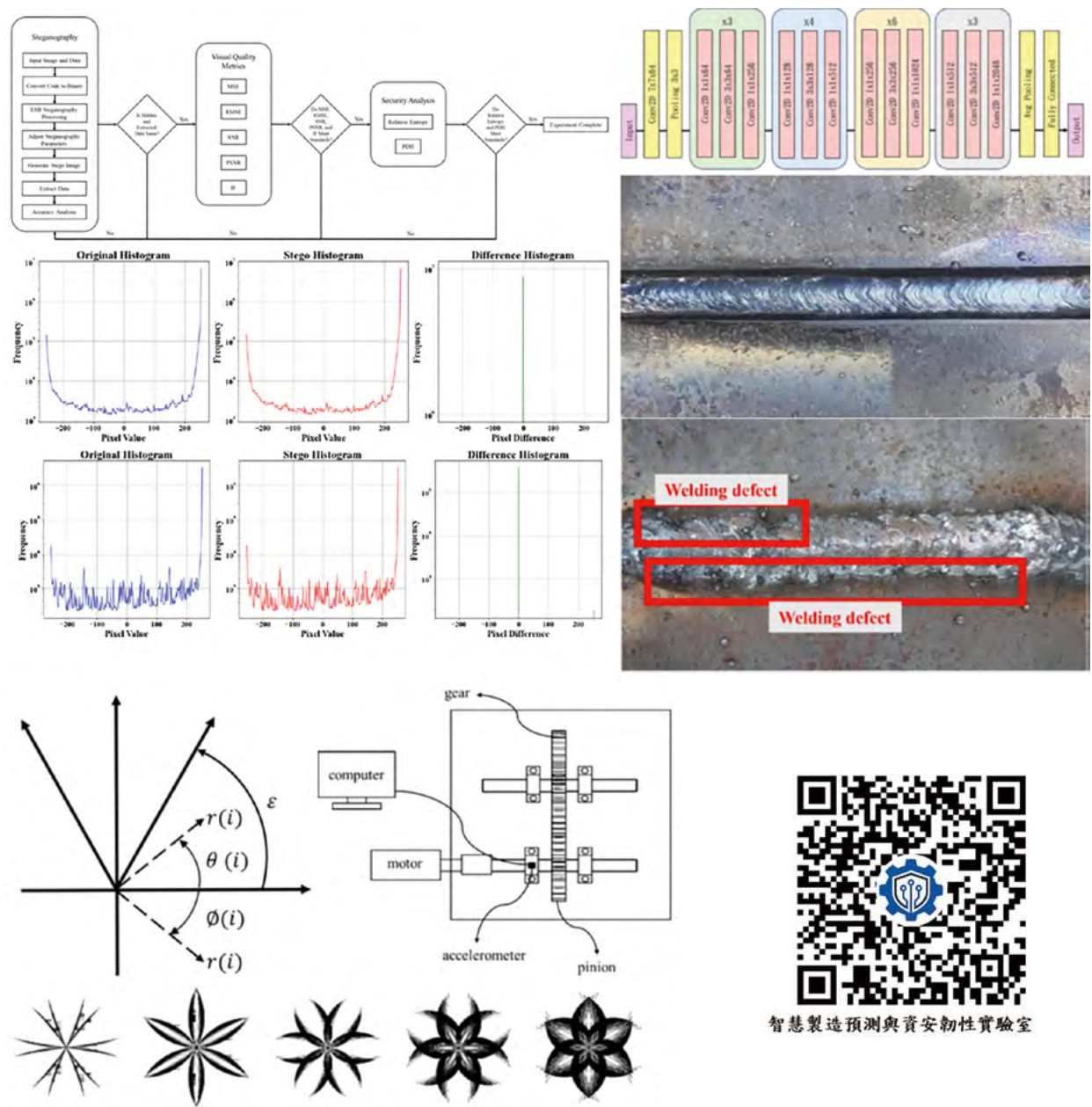


圖 22 智慧製造預測與資安韌性實驗室之相關簡介及 QR code 連結



自動化工程師證照 & 機器工程師證照考試資訊

參考文獻

Zeller, V., Hocken, C., & Stich, V. (2018). Acatech Industrie 4.0 maturity index—a multidimensional maturity model. In Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2018, Seoul, Korea, August 26-30, 2018, Proceedings, Part II (pp. 105-113). Springer International Publishing.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 18-23.

Lu, Y., Morris, K. C., & Frechette, S. (2016). Current standards landscape for smart manufacturing systems. NIST Special Publication, 8107, 1-10.

Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing must embrace big data. Nature, 554 (7691), 23-25.

Wu, D., Thames, J. L., Rosen, D. W., & Schaefer, D. (2015). Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation. Computer-Aided Design, 59, 1-14.

Wang, L., Törngren, M., & Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 37, 517-527.

Dikhanbayeva, D., Tokbergenova, A., Lukhmanov, Y., Shehab, E., Pastuszak, Z., & Turkylmaz, A. (2021). Critical factors of industry 4.0 implementation in an emerging country: Empirical study. Future Internet, 13 (6), 137.

Tabunshchyk, G., Arras, P., & Wolff, C. (2020, September). Development of cross-domain competences for Work 4.0. In International Conference on Interactive Collaborative Learning (pp. 205-211). Cham: Springer International Publishing.

Lin, T. C., Wang, K. J., & Sheng, M. L. (2020). To assess smart manufacturing readiness by maturity model: A case study on Taiwan enterprises. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 33 (1), 102-115.

Ejjami, R. (2024). AI's impact on vocational training and employability: innovation, challenges, and perspectives. International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR), 6 (4), 1-16.

教育部 (2020)。《技職教育政策白皮書》。中華民國教育部出版。

利用 MVC 平台 建構與應用於 智慧工廠自動化 整合研究

本研究探討如何以自動化動作視覺控制系統 (Motion Vision Control, MVC) 軟體平台取代傳統可程式邏輯控制器 (Programmable Logic Controller, PLC)，實現智慧工廠中數位雙生系統的快速部署與虛實整合。研究中採用 OCTOPUZ 與 ROBOGUIDE 離線編程建立 FANUC 機械手臂與 CNC 工具機的虛擬場域，再將編製好的路徑匯入虎門 MVC 系統，由 MVC 控制實體手臂進行上下料作業並進行 IO 訊號的交換。

MVC 以選單式 No-Code 設計，可讓人直接設定參數完成任務導向的程式撰寫，不需程式語言背景即可操作。其程式內容簡潔清晰、易於理解，具高度彈性可快速修改或新增邏輯，以應對少量多樣的生產模式。MVC 內建視覺檢測工具支援快速導入與應用，並可直接操控多品牌 ROBOT，配合內建動作監控程式，當機台異常時可於 30 秒內迅速定位並排除異常原因。

此外，MVC 可整合模擬繪圖軟體（如 SolidWorks），直接控制 3D 模型進行預先調教與虛擬試產，並具備導入元宇宙場景的能力，使現場人員可於虛擬場域進行教育訓練與流程演練，提升整體數位化與智慧製造效益。

▼ 1. 前言

在當前智慧製造迅速發展的產業浪潮中，企業面臨全球市場競爭加劇、產品生命周期縮短以及客製化需求提升等多重挑戰。為因應這些變化，導入工業 4.0 相關技術成為轉型升級的關鍵策略，其中「數位雙生」（Digital Twin, DT）技術因能即時映射與模擬實體設備運作狀態，在智慧工廠應用中扮演不可或缺的角色 [1][2]。透過虛實整合，DT 可實現設備

行為的預測性維護、流程優化與數據可視化分析，進而提升整體生產效率與彈性 [3]。

傳統工業自動化架構仰賴 PLC 與 SCADA 系統建構控制邏輯，開發需撰寫大量程式碼，對人力技術門檻要求高，亦不利於快速變更及流程微調。此外，數據來源分散、整合困難，亦造成管理與決策延遲 [4][5][6]。因此，業界日益重視具備高整合性、低門檻操作與模組化部署能力的開發平台，以滿足「少量多樣」、「即時變更」等生產特性 [7][8]。

針對上述需求，本研究採用「虎門 MVC」（Humen Motion Vision Control）平台作為數位雙生應用核心。該系統具備 No-Code 開發能力，使用者僅需透過圖形化介面與參數設定，即可建構複雜控制邏輯，無需撰寫傳統程式語言，大幅降低人員操作門檻與維護成本 [9][10]。虎門 MVC 支援與多種品牌機械手臂、CNC 加工機及工業感測器進行通訊整合，並能透過內建的視覺模組與模擬模組進行流程驗證與 3D 環境佈建。

本研究結合 ROBOGUIDE 與 OCTOPUZ 等離線編程工具 [11] 建置 FANUC 機械手臂之虛擬場域，並以虎門 MVC 為主控平台完成與 CNC 工具機之上下料流程整合。系統建置架構採用 Ethernet、Modbus RTU 與 PROFINET 協定實現多設備間通訊與 IO 訊號交換 [12][13]，藉由 No-Code 流程設計與視覺工具的導入，實現機台的虛實整合、監控與故障排除。同時，透過模擬場域與元宇宙式操作環境，有助於操作人員進行教育訓練與虛擬除錯，大幅縮短現場建置時程與錯誤率。

▼ 2. 系統架構

本研究所設計之智慧工廠整合系統，其整體架構如所示，核心建置以虎門 MVC（Motion & Vision Control, MVC）平台為主，整合工業型機械手臂、五軸 CNC 加工中心、數位 IO 通訊模組以及視覺檢測系統，建構出一個涵蓋虛擬模擬、動作控制、視覺分析與流程管理的智慧自動化作業環境。

關鍵字

離線編程 虛實整合 數位雙生
低程式碼開發平台

文 | 龍華科技大學機械工程系
亞洲大學資訊工程學系

沈志陽、涂崇一、丁鯤、陳俞荔、陳睿穎



在本系統中，透過 MVC 平台整合通用型與專用型離線編程（OLP）工具，包含 ROBOGUIDE（專用於 FANUC 機械手臂）與 OCTOPUZ（支援多品牌機器人），完成虛擬場域的建構與點位規劃。MVC 具備模組化與參數化的流程圖邏輯設定介面，操作人員可依據生產需求或流程變更，自主快速地調整控制邏輯與執行順序，無須撰寫程式碼，亦不需重新編譯控制邏輯，顯著提升產線彈性與效率。

本系統整合之關鍵模組與軟硬體設備包括：

- 1. MVC 平台：具備 No-Code 任務導向式開發介面，可視化流程圖編輯，支援流程模組複用與邏輯條件分支設定。
- 2. FANUC 機械手臂：透過 Ethernet 介面與 UOP（User Operator Panel）訊號與 MVC 平台通訊，實現上下料與協同控制。
- 3. 五軸 CNC 加工中心：與 Modbus RTU 8-bit 繼電器模組及 PROFINET IO 模組連接，實現高速 IO 訊號交握與加工狀態同步。
- 4. 離線編程工具：採用 ROBOGUIDE 與 OCTOPUZ 建置 3D 虛擬場域與手臂點位規劃，輸出 .LS 或 .TP 格式程式並匯入至 MVC。
- 5. 視覺檢測模組：由 MVC 內建圖像處理模組控制相機與光源，執行瑕疵檢測、定位校正與異物識別。
- 6. 虛擬模擬工具：整合 SolidWorks 等 3D CAD 模型作為虛擬調機基礎，提升虛擬場域真實性與調機精度。

MVC 平台另內建異常監控機制，當設備執行過程中出現錯誤、延遲或誤動作時，系統

可即時於 30 秒內判定異常段落與可能原因，並透過人機介面進行標示與提示。此機能大幅強化產線的維運效率與即時修復能力，有助於提升系統的可靠性與穩定性。

▼ 3. 場域建置

3.1 機械手臂上下料流程規劃

本研究依據 MVC（Motion & Vision Control）系統架構進行整體流程設計，採用表列式程式控制方式，將機械手臂的移動路徑、夾爪模組之 IO 訊號，以及 CNC 與機械手臂間的交握控制訊號進行分離管理。此方法可有效區隔運動控制與邏輯控制，使系統架構更為清晰且具彈性。在離線編程階段，搭配使用與 MVC 相容之編程平台，採用副程式（Subroutine）架構來規劃機械手臂路徑。各副程式中僅記錄機械手臂的點位資料，而不包含 IO 控制訊號，所有的 IO 操作、流程邏輯與順序控制皆交由 MVC 系統統一管理與執行，如圖 2 所示。此種分層式控制策略不僅能提升程式模組化程度，也使日後進行流程變更、功能擴充或除錯工作更加便利與高效。

在規劃機械手臂執行上下料任務的流程時，需依據夾爪模組 IO 訊號的觸發時機，合理安排副程式的執行順序。儘管上下料兩者的移動路徑幾乎完全相同，僅在於夾爪的開合控制訊號不同，因此本系統設計策略上將兩者的路徑部分進行共用，僅針對夾爪控制訊號進行切換。透過此設計可有效減少程式編寫量，提升副程式之可重複利用性與整體系統的維護效率。經實際規劃與測試後發現，僅需設計

8 組副程式，即可涵蓋完整的上下料流程需求，兼具實用性與可擴展性。副程式內容涵蓋取放料點定位、CNC 交握點控制、移動路徑切換等模組化設計，其詳細功能介紹如表 1 所示。本設計展現 MVC 在工業應用中整合離線編程與流程控制的實用性與高效率，為後續智慧工廠部署奠定良好基礎。

123~126為上傳 移動路徑	123	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB,FILE,mvc_demo_7.LS
	124	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB,RUN,RSR0001
	125	System@Delay	0.2
	126	Motion@WaitMotor	FANUC_RB,TimeOut=30,
127~130為IO訊 號控置	127	IO@ClrPort	P2.1
	128	System@Delay	0.1
	129	IO@SetPort	P2.0
	130	System@Delay	0.5

圖 2 MVC 程式範例

表 1 副程式介紹

程式名稱	移動軌跡
MVC_DEMO_1	移動至備料區取料
MVC_DEMO_2	移動至 CNC 門口
MVC_DEMO_3	移動至虎鉗治具上方
MVC_DEMO_4	手臂向下放置虎鉗
MVC_DEMO_5	回到虎鉗治具上方
MVC_DEMO_6	退回 CNC 門口
MVC_DEMO_7	移動至備料區放料
MVC_DEMO_10	回到機械手臂原點

3.2 OLP 軟體規劃機械手臂移動路徑

在本研究中，機械手臂之移動路徑規劃與動作編排，分別採用兩款離線編程軟體：OCTOPUZ 與 ROBOGUIDE。兩者皆具備完整的模擬功能、路徑優化機制及離線程式產出能力，能有效支援複雜作業流程之建置與虛擬驗證。為比較其在實務應用層面之差異，本文將深入探討 OCTOPUZ 與 ROBOGUIDE 於建模方式、人機介面設計、路徑規劃邏輯、IO 模組整合能力，以及與控制系統如 MVC 之相容性等關鍵指標。藉由系統化比較，分析兩套軟

體在智慧製造場域中之適用性、操作效率與整體導入效益。

3.2.1 ROBOGUIDE 虛擬場域建置

ROBOGUIDE 為 FANUC 公司專為其機械手臂所設計之離線編程軟體（Offline Programming, OLP）平台，程式編排與實際現場操作方式一致。可透過內建的虛擬示教器進行操作，模擬真實教導器上的操作流程，進行點位教導與動作編寫，如圖 3 所示。在 ROBOGUIDE 中進行手臂動作模擬與路徑編排時，所撰寫的程式碼結構與

現場程式幾乎相同，能有效縮短從模擬至實際應用的轉換時間。

在程式匯出階段，需特別注意輸出格式的選擇。FANUC 系統支援的程式格式主要為 .LS 與 .TP 檔案，其中 .TP 為教導器專用之二進位格式，無法直接由外部系統匯入控制器；而 .LS 則為文字格式，適用於透過 USB 或網路介面導入控制器。控制器接收到 .LS 檔案後，將自動轉譯為 .TP 格式以供現場執行。因此，在離線編程作業完成後，應確認匯出檔案為 .LS 格式，以確保後續部署流程順利銜接至 FANUC 控制系統。

3.2.2 OCTOPUZ 虛擬場域建置

OCTOPUZ 為一套通用型離線編程 (Offline Programming, OLP) 軟體，具備虛擬場域建構與多品牌機械手臂支援功能，

廣泛應用於異質設備整合環境中。其編程採用直述式邏輯，使用者可透過拖曳操作將機械手臂移動至預定位置，並選擇 PTP (Point-to-Point) 或 LIN (Linear) 移動模式，系統即自動記錄對應點位並產生相應程式碼。副程式 (Subroutine) 可透過內建模組區進行新增、命名與管理，操作方式直觀，便於建立模組化與重複使用之動作流程如圖 4 所示。

OCTOPUZ 內建後處理器 (Post-Processor)，可直接匯出符合 FANUC 控制器需求的 .LS 格式檔案，免除另行格式轉換之需求，有效提升程式部署效率與準確性。該軟體以 Visual Components 為開發架構，故其 3D 建模資源與機器人元件可與 Visual Components 平台共用，進一步提升系統擴展性與相容性。對於非主流或客製型機械手



圖 3 ROBOGUIDE 虛擬場域建置



圖 4 OCTOPUZ 場域建置

臂，使用者亦可透過 Visual Components 官方論壇查詢並下載由第三方提供之後處理器模組，以擴充 OCTOPUZ 的支援範圍與應用彈性。

3.3 CNC 與機械手臂 IO 訊號傳輸

在本系統中，透過 MVC 平台取代傳統 PLC 執行 I/O 控制功能。所有 I/O 訊號的讀取與傳輸皆由 MVC 平台負責，包括代替機械手臂向 CNC 設備傳送數位輸出 (DO) 訊號，以及接收來自 CNC 的數位輸入 (DI) 訊號，藉此實現上下料流程中的訊號交握與動作協調。

3.3.1 HJ3202 連接至 CNC PROFINET 接口

PROFINET 為基於工業乙太網路的高速通訊協定，廣泛應用於自動化系統中。HJ3202 模組可透過乙太網路線連接至 CNC 控制箱內部之 PROFINET 通訊埠，並需另行接上 24V 直流電源以供模組運作。完成硬體連接後，須向機台製造商索取對應之 GSDML (General Station Description Markup Language) 檔案。該檔案為可讀取之 ASCII 文字格式，包含設備的通訊功能、網路配置參數與特定設備規格等資訊。將 GSDML 檔匯入至 CNC 控制器後，即可將 HJ3202 模組作為 PROFINET IO 的從站設備使用，進而實現與 MVC 平台間的訊號交換與同步控制。

3.3.2 LC-Modbus-8R-D7 配線

HJ3202 遠端 I/O 模組透過 PROFINET 通訊協議，結合 Modbus RTU 轉 PROFINET 閘道器 (Gateway)，實現對

Modbus 設備的訊號監控與控制。其中，LC-Modbus-8R-D7 模組負責輸出數位訊號，並透過 Modbus RTU 協議經由 RS485 介面進行資料收發。為使 MVC 控制平台所運行之筆記型電腦能接收來自 RS485 通訊的訊號，本研究採用 RS485 轉 USB 轉接模組，實現訊號格式轉換與傳輸，如圖 5 所示。透過此架構，MVC 平台得以與 Modbus 裝置進行資料交互，強化系統整體之控制彈性與通訊擴展性。LC-Modbus-8R-D7 配線完成狀態，如圖 6。配線完成後該模組能夠與 HJ3202 (PROFINET IO 模組) 相接完成訊號傳輸。



圖 5 RS485 轉接 USB 模組



圖 6 HJ3202 和 LC-Modbus-8R-D7 互連

3.4 FANUC 機械手臂設定

MVC 軟體所在之筆記型電腦與機械手臂透過區域網路接進行。透過筆記型電腦連線區網 Wi-Fi。查詢 ip 位置後透過乙太網路網線連接 FANUC 手臂控制箱內 Ethernet 網卡至場域內之區域網路接口，。並依區域網路 IP 使用臂示教器進入 SETUP>Host Comm，設定 FANUC 手臂 IP 位置完成與區域網路達成連接。

3.4.1 FANUC DI/DO 設定

為實現 MVC 平台對 FANUC 機械手臂數位 I/O (Digital I/O) 訊號的控制，需透過示教器進行相關 I/O 參數的設定。此設定流程可管理並監控機器人控制器與外部設備之間的 I/O 訊號交換。主要操作內容包括：啟用並設置 I/O 通道、定義通訊參數，以及配置輸入輸出點位對應。透過此設定，機械手臂得以依照指令準確發送控制訊號 (DO) 及接收外部觸發訊號 (DI)，進而實現與其他自動化設備之協同運作，並能即時回應環境或製程中的變化狀態。

3.4.2 FANUC (UOP 訊號) 設置

UOP (User Operator Panel) 訊號是 FANUC 機械手臂與 PLC 或其他外部控制設備進行通訊與協調的關鍵介面，允許外部系統控制機械手臂的啟動、停止與程式執行等動作。在本研究中，所使用之 MVC 整合平台屬於外部輸入控制系統，因此需透過示教器啟用 UOP 相關訊號設定，以實現機械手臂的遠端控制功能。為使 MVC 能透過 UOP 模式控制 FANUC 機械手臂，須在示教器中啟用特定之 UI (User Input) 訊號，包括：

- 1. UI[1] IMSTP (Immediate Stop)：緊急停止機器人動作。
- 2. UI[2] HOLD：暫停機器人目前的執行程式。
- 3. UI[3] SFSPD (Safe Speed)：限制機器人以安全速度運行。
- 4. UI[8] Enable：啟用外部控制操作。

以上四項訊號為外部輸入控制模式 (EXT) 之必要條件，設定完成後，MVC 平台即可透過 UOP 介面實現對 FANUC 機械手臂之遠端控制與流程協調。

3.5 MVC 程式撰寫

3.5.1 載入驅動程式

MVC 採用新增模組方式控設備和傳輸訊號。透過匯入 FANUC 手臂驅動程式和 LC-Modbus-8R-D7 驅動程式才能對手臂進行控制以及設備之間的訊號交握功能。以 LC-Modbus-8R-D7 為例：將 IO 卡驅動程式複製到資料夾中指定的位置使其對該模組進行通訊。

3.5.2 MVC 設定 IO 交握訊號

載入 IO 卡後需要設定參數使 MVC 能夠透過該 IO 模組接收來自 CNC 之訊號以及代替機械將訊號傳至 CNC。並依廠商所提供之 IO 交握訊號表格設定 DI 訊號。依照 IO 表格設定名稱後 LC-Modbus-8R-D7 之 IO 程式。FANUC IO 設定與 LC-Modbus-8R-D7 相同，依照廠商所提供之 IO 交握訊號表格綁定夾爪模組 DO 訊號。圖 7 為 FANUC IO 程式。

5	IO@AddIODriver	IO485,LCTech,Device=COM3,OutStart=P0.0,OutPorts=8,In!
6	IO@InitIOPort	IO485
7	IO@SetPortName	P1.0,取料許可M87
8	IO@SetPortName	P1.1,置料許可M88
9	IO@SetPortName	P1.2,自動開門完成
10	IO@SetPortName	P1.3,自動關門完成
11	IO@SetPortName	P1.4,機器自動運轉中
12	IO@SetPortName	P1.5,機床異常警報
13	IO@SetPortName	P1.6,機床程式結束M30
14	IO@SetPortName	P0.0,進入CNC上下料
15	IO@SetPortName	P0.1,取料完成通知信號M87完成
16	IO@SetPortName	P0.2,置料完成M88完成
17	IO@SetPortName	P0.3,供料停止程式結束
18	IO@SetPortName	P0.4,RobotAlarm

圖 3.6 MVC 設定 IO 交握訊號

19	IO@SetPortName	P2.0,夾爪開
20	IO@SetPortName	P2.1,夾爪關閉
21	IO@SetPortName	P2.2,吹氣:解鎖
22	IO@SetPortName	P2.3,蛇片
23	IO@SetPortName	P2.4,吹氣:清除鐵屑
24	IO@AddIODriver	FANUC IO,FANUCDIO,Device=10.8.6.12;120;120,OutStart=
25	IO@AddIODriver	FANUC IO,FANUCDIO,Device=10.8.6.12;120;120,OutStart=
26	IO@InitIOPort	FANUC IO

圖 7 FANUC IO 程式

3.5.3 上下料程式規劃

為實現上下料流程的自動化控制，本研究透過 CNC 控制器內的 G-CODE 程式進行對應邏輯撰寫。根據機台製造商所提供的 I/O 交握訊號表，於 G-CODE 中設定各階段的 I/O 觸發條件，使 CNC 能夠在適當時機啟動對應的上下料子程序。MVC 平台則依據 G-CODE 所定義的流程邏輯，負責發送與接收 I/O 訊號，以實現與 CNC 及機械手臂間的通訊與同步控制。

此外，MVC 亦透過 I/O 訊號管理邏輯，確保機械手臂在作業過程中避免與加工設備發生干涉或碰撞問題，提升整體作業安全性與穩定性。圖 8 所示為上下料 G-CODE 程式片段，該段程式控制機械手臂移動至備料區夾取虎鉗，並將其準確放置於 CNC 內部，完成置料作業。

67	IO@WaitPortOn	置料許可M88	102	System@Comment	-->>	1	System@Comment	-->>	1	System@Comment	-->>
68	System@Comment	-->>	103	System@Comment	-->>	2	System@Comment	-->>	2	System@Comment	-->>
69	System@Comment	-->>	104	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_4LS	105	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_4LS	106	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_4LS
70	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	107	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	108	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	109	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS
71	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	110	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	111	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	112	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS
72	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	113	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	114	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS	115	Motion@ExtraCMD	FANUC_RB.FILE.mvc_demo_1LS
73	System@Delay	0.2	116	System@Delay	0.2	117	System@Delay	0.2	118	System@Delay	0.2
74	System@Delay	0.2	119	System@Delay	0.2	120	System@Delay	0.2	121	System@Delay	0.2
75	Motion@WaitMotor	FANUC_RB.TimeOut=30,	122	Motion@WaitMotor	FANUC_RB.TimeOut=30,	123	Motion@WaitMotor	FANUC_RB.TimeOut=30,	124	Motion@WaitMotor	FANUC_RB.TimeOut=30,
76	System@Comment	-->>	125	System@Comment	-->>	126	System@Comment	-->>	127	System@Comment	-->>
77	System@Comment	-->>	128	System@Comment	-->>	129	System@Comment	-->>	130	System@Comment	-->>
78	System@Comment	-->>	131	System@Comment	-->>	132	System@Comment	-->>	133	System@Comment	-->>
79	System@Comment	-->>	134	System@Comment	-->>	135	System@Comment	-->>	136	System@Comment	-->>
80	System@Comment	-->>	137	System@Comment	-->>	138	System@Comment	-->>	139	System@Comment	-->>
81	System@Comment	-->>	140	System@Comment	-->>	141	System@Comment	-->>	142	System@Comment	-->>
82	IO@AddVirtualIO	A PICK OFF	143	IO@AddVirtualIO	A PICK OFF	144	IO@AddVirtualIO	A PICK OFF	145	IO@AddVirtualIO	A PICK OFF
83	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	146	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	147	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	148	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
84	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	149	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	150	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	151	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
85	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	152	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	153	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	154	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
86	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	155	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	156	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	157	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
87	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	158	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	159	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	160	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
88	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	161	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	162	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	163	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
89	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	164	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	165	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	166	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
90	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	167	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	168	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	169	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
91	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	170	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	171	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	172	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
92	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	173	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	174	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	175	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
93	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	176	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	177	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	178	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
94	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	179	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	180	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	181	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
95	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	182	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	183	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	184	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
96	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	185	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	186	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	187	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
97	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	188	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	189	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	190	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
98	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	191	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	192	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	193	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
99	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	194	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	195	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	196	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
100	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	197	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	198	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	199	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF
101	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	200	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	201	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF	202	IO@AddVirtualIO	CHC BRK OFF

圖 8 MVC 置料程式

3.6 人機介面規劃和設定

MVC 基於 LABVIEW 底層所開發因此可以將 LabView Front Panel 之 .vi 檔案直接匯入軟體編輯介面功能。LabView Front Panel 透過 MVC 進行人機介面訊號綁定，透過綁定顯示視窗功能代替撰寫程式之複雜作業。並設定虛擬 IO 訊號以供流程圖使用顯示當前產線狀態，如圖 9。

- 1. 機械手臂六軸數值顯示框
- 2. 機械手臂上下料流程圖
- 3. LANG 夾爪模組訊號和 CNC 自動門狀態
- 4. Latch 訊號為第一次執行程式需要按此按鈕

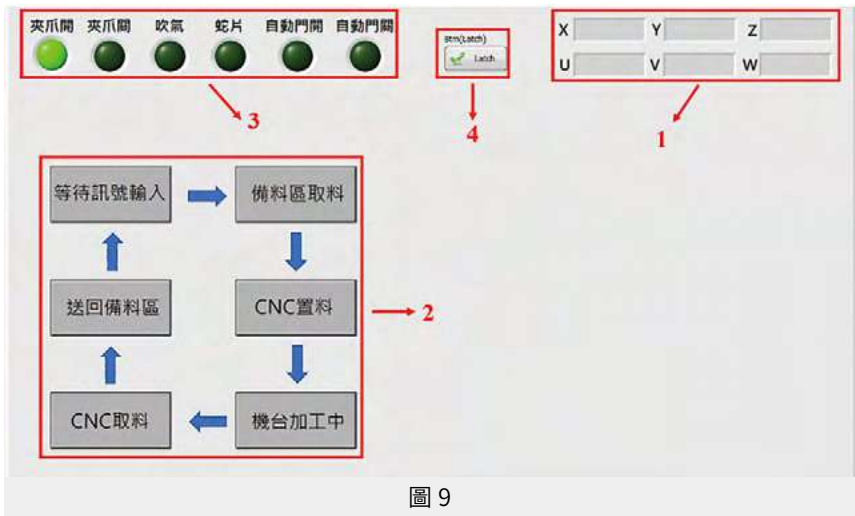


圖 9

▼ 4. 結果與討論

本研究分別採用通用型離線編程軟體 OCTOPUZ 與專用型離線編程軟體 ROBOGUIDE，於虛擬場域中進行機械手臂移動路徑模擬與驗證。在實際導出機械手臂之程式前，透過三維模擬環境可預先檢查手臂於動作過程中是否能安全、無碰撞地抵達所有預定點位，有效確保實機操作的準確性與安全性。

模擬完成後，將 OCTOPUZ 與 ROBOGUIDE 分別匯出的 .LS 格式移動路徑檔案匯入至 MVC (Motion & Vision Control) 視覺動作控制

系統。MVC 透過區域網路將路徑資料傳送至 FANUC 機械手臂控制器，並發送啟動訊號以觸發機械手臂執行對應程式。過程中，系統依據台中精機所提供之 IO 交握訊號對應表進行設定，實作 CNC 與機械手臂間之通訊交握。具體而言，MVC 接收來自 CNC 的 DI (Digital Input) 訊號，並以 DO (Digital Output) 訊號回傳控制命令至 CNC，完成雙向通訊與動作協調。

此外，為簡化人機介面 (HMI) 設計與訊號綁定作業，本研究導入 LabVIEW 平台，運用其 Front Panel 圖形化介面，結合軟體內建

之訊號綁定功能，取代傳統需以 Python 撰寫的介面邏輯。透過 LabVIEW 與 MVC 的整合，可快速完成訊號設定與人機介面部署，大幅縮短場域建置時間，提升系統整體整合效率與擴充彈性。

4.1 建置虛擬場域之差異性

在本研究建置虛擬場域過程中，發現不同離線編程軟體對於圖形檔案格式的支援程度有所差異，這對虛擬場域建構作業產生實質影響。因此，在進行虛擬環境建置前，需確認所使用之離線編程平台是否支援特定格式的 3D 圖檔 (如 .STEP、.IGES、.STL 等)，以確保設備模型能正確匯入與顯示。

以 ROBOGUIDE 為例，當使用者將設備圖檔匯入後，其檔案路徑與儲存位置需保持固定。若使用者於模擬過程中移動原始圖檔或其所在資料夾，將可能導致 ROBOGUIDE 在載入專案時無法辨識對應檔案，進而無法正確執行部分設備之模擬功能。相較之下，OCTOPUZ 則採用內嵌式圖檔管理方式，一旦圖檔匯入完成，即可脫離原始路徑進行模擬，不會受到檔案位置變動所影響，提升操作彈性與穩定性。

另一項重要差異為機械手臂之初始點位設定方式。OCTOPUZ 需使用者明確設定機械手臂的初始點位，否則在模擬過程中若使用「復原 (Undo)」功能，手臂將會自動回復至 OCTOPUZ 內部預設之起始位置，而非使用者實際設定的工作點位 (例如 P1)，可能導致模擬結果與預期不符。相對

地，ROBOGUIDE 初始點位設定邏輯與實際 FANUC 示教器操作一致，系統會將程式中的第一個點位 (P1) 視為手臂初始位置，無須額外設定即可與現場環境保持一致性。在圖檔管理與點位初始化機制方面，OCTOPUZ 提供較高彈性與擴展性，適合多品牌、複雜流程的應用場域；而 ROBOGUIDE 則更貼近實機操作邏輯，適用於以 FANUC 設備為主且重視與實機同步一致性的專案需求。

▼ 5. 結論

本研究分別採用 OCTOPUZ 通用型離線編程軟體與 FANUC 專用型 ROBOGUIDE 平台進行虛擬場域建置與機械手臂移動路徑之規劃。透過離線編程軟體完成之模擬動作與路徑設計，利用內建後處理器功能 (Post-Processor)，匯出 FANUC 控制器可讀取之 .LS 格式路徑檔案，進一步經由 MVC 控制平台匯入至實體機械手臂控制器中，使機械手臂能依據虛擬規劃結果執行對應的上下料作業，達成虛實整合目標。整體架構中，以 MVC 系統取代傳統 PLC 流程控制，並透過人機介面綁定 I/O 訊號的方式，取代傳統以 Python 等程式語言撰寫流程邏輯的需求，大幅簡化流程控制設定與場域建置作業。

針對 OCTOPUZ 與 ROBOGUIDE 兩款離線編程軟體之功能與適用情境進行比較分析後，獲得以下結論

- 1. 離線編程軟體的選擇需依據實際專案需求與設備品牌規格進行評估。若專案環境中使用單一品牌之機械手臂，且作業

流程相對簡易，使用原廠提供的專用型編程軟體能確保最佳相容性與穩定性；反之，若涉及異廠牌設備或複雜多樣之製程需求，通用型平台之彈性與資源共享性則更具優勢。

- 對於以 FANUC 機械手臂為主體、執行點對點移載、上下料等標準作業任務之專案而言，ROBOGUIDE 提供與實際示教器高度一致的操作邏輯與環境，能快速模擬、撰寫與驗證程式，為具成本效益的選擇。
- 對於需要處理複雜路徑運動（如研磨、焊接、切削加工等）、支援多品牌設備整合，或需進行多工序同步作業之場域，OCTOPUZ 具備更強大的靈活性、模組化結構與後處理支援能力，並可藉由

Visual Components 之模組擴展工具進行客製化資源整合與共享，適合智慧製造高彈性需求之應用情境。

綜合以上分析結果可得，本研究透過機器人離線編程軟體進行虛擬場域建構、動作規劃與程式產出，再配合 MVC 控制系統進行流程管理與訊號控制，有效達成場域部署前之全流程模擬驗證。此一方法不僅降低實體場域建置初期所需之測試與修改成本，亦大幅提升系統整合效率與模組可重複利用性。OCTOPUZ 與 ROBOGUIDE 兩者各具優勢，應依專案規模、需求複雜度與系統彈性進行選擇，作為未來智慧製造導入離線編程技術之參考依據。

參考文獻

- [1] W. Kritzing, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, W. Sihn, "Digital Twin in manufacturing: A categor-ical literature review and classification." Annual Reviews in Control, vol. 51, Issue 11, pp. 1016-1022, (2018)
- [2] Y.Lu, X. Xu, "A digital twin reference model for smart manufacturing." Computers and Industri-al Engineering, International Conference, 48th 2018 (CIE48), December 2-5, Auckland, New Zealand, (2018)
- [3] V. Vijayaraghavan, J. Rian Leevinson, "Internet of Things Applications and Use Cases in the Era of Industry 4.0." The Internet of Things in the Industrial Sector. Computer Communications and Net-works, pp. 279-298, (2019)
- [4] T. Sauter, "Integration aspects in automation a technology survey." 10th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Catania Italy, pp. 255-263, (2005)
- [5] T. Sauter, "The three generations of field-level networks 2014—evolution and compatibility is-sues." IEEE transactions on industrial electronics, vol. 57, pp. 3585-3595, (2010)
- [6] P. Danielis, "Survey on real-time communication via ethernet in industrial automation environ-ments." Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), Barce-lona, Spain, 16-19 September, (2014)
- [7] D. Pinho, A. Aguiar, V. Amaral, "What about the usability in low-code platforms? A systematic literature review." Journal of Computer Languages, vol. 74, Article 101185, (2023)
- [8] B. Schenkenfelder, C. Salomon, G. Buchgeher, R. Schossleitner, C. Kerl, "The Potential of Low-Code Development in the Manufacturing Industry." 2023 IEEE 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Sinaia, Romania, 12-15 September, (2023)
- [9] M. Da libor, M. Heithoff, J. Michael, L. Netz, J. Pfeiffer, B. Rumpe, S. Varga, "Generating cus-tomized low-code development platforms for digital twins" Journal of Computer Languages, vol. 70, Article 101117, (2022)
- [10] Y. Luo, P. Liang, C. Wang, M. Shahin, J. Zhan, "Characteristics and Challenges of Low-Code Development: The Practitioners' Perspective" the 15th ACM / IEEE International Symposium on Em-pirical Software Engineering and Measurement (ESEM), 11-15 October, Bari, Italy, (2021)
- [11] V.S. Bottazzi, J.F. Cruz Fonseca, "Off-line robot programming framework" Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services - (icas-isns' 05), Papeete, France, 23-28 October, (2005).
- [12] C. Urrea, C. Morales, J. Kern, "Implementation of error detection and correction in the Modbus-RTU serial protocol." International Journal of Critical Infrastructure Protection, vol.15, pp 27-37, (2016)
- [13] H. Kleines, S. Detert, M. Drochner, F. Suxdorf, "Performance Aspects of PROFINET IO." 15th IEEE-NPSS Real-Time Conference, vol. 55, Batavia, IL, USA, 29 April - 04 May, (2007)

2025 智動化技術人才媒合活動

活動
窗口

04-2358-1866 #51 凌小姐 / joy@tairoa.org
台灣機器人與智慧自動化展(TAIROS)
2025智動化產業技術人才媒合活動

因應國際趨勢及產業競爭力需求，企業紛紛投入智慧製造，朝向數位化、智慧化轉型而「人才」便是產業升級的關鍵要素。為招募更多菁英投入智動化產業，將於2025年3月至8月辦理**人才媒合活動**。

本活動共邀請上銀科技、大銀微系統、邁萃斯精密、健椿工業、復盛應用科技、新呈工業，多家智慧製造領域的優質企業，提供超過300個職缺，**優渥薪資最高達10萬/月**。

相關職缺及活動已公告於TAIROA官網專屬網頁請掃右方QRcode了解詳情。



主辦
單位
TAIROA
社團法人台灣智慧自動化與機器人協會

贊助
企業
HIWIN
上銀科技·大銀微系統

MATRIX
COVENTRY
邁萃斯精密

KENTURN
健椿工業股份有限公司

復盛應用科技
FUSHENG PRECISION

HIWIN
上銀科技·大銀微系統

上銀科技

上銀科技為傳動控制與系統科技世界領導品牌，專注於高速、高精度、環保節能特性之關鍵零組件的研發與製造，是企業實踐智慧工廠的最佳夥伴。產品系列包括：滾珠螺桿、線性滑軌、特殊軸承、諧波減速機、Torque Motor迴轉工作台、工業機器人、晶圓機器人及醫療機器人。上銀科技擁有多個海外據點，如：德國、美國、義大利、日本、瑞士、捷克、法國、新加坡、韓國、中國蘇州、保加利亞等，提供世界級的舞台。

您可至上銀科技線上履歷頁面投遞履歷
或自備履歷投遞至 recruiting@hiwin.tw



HIWIN
上銀科技·大銀微系統

大銀微系統

大銀微系統為傳動控制與系統科技之機電整合者，是全球少數能同時提供線性馬達、力矩馬達及奈米級定位平台等解決方案之廠家。技術水平與德、日、美等先進國家並駕齊驅，客戶群涵蓋半導體、面板、工具機、自動化及醫療等產業，銷售實績遍佈全球。大銀微系統擁有豐富的全球整合資源、多元的訓練管道，歡迎各領域人才加入大銀行列，提升您的職涯高度、定義您的新未來！

您可至大銀微系統之「104人力銀行」
或線上履歷頁面投遞履歷



MATRIX
COVENTRY
邁萃斯精密

邁萃斯精密

邁萃斯精密是齒輪磨床專業製造廠，主要生產齒輪磨床與齒輪刀具，擁有齒輪設備軟體開發及優異的製造能量；Matrix 為英國知名的百年螺紋及齒輪磨床大廠，其豐富的研發經驗，與邁萃斯的精密製程及創新能力完整結合。Matrix 產品，適用於新能源之電動車、風力發電、航空、工程機械、軌道及農業機械等各項產業，提供優質的專業服務，並自我期許成為全球高附加價值工具機的領導者。

您可至邁萃斯之「104人力銀行」投遞履歷
或自備履歷投遞至 hr@matrix-machine.tw



KENTURN
健椿工業股份有限公司

健椿工業

健椿工業成立於民國72年12月14日，以「精密研磨技術」起家，並於107年6月11日上櫃，成為「台灣首家專業生產精密主軸」的研發製造廠商。健椿工業連續多年榮獲「幸福企業」殊榮，除了提供完善的晉升制度與訓練體系，包括新人訓練、核心技能訓練、專業課程與主管培訓等，提升員工的競爭力外，公司也在員工福利上超越業界標準。除了生日禮金、五節禮金及禮盒提貨券，還提供優於勞基法的各類假期，並設有健康促進課程與講座，幫助員工保持良好的工作心情。健椿工業秉持友善的企業文化，並積極關懷員工及其家庭，為員工創造穩定、舒適的工作環境。」

您可至健椿工業之「104人力銀行」
投遞履歷



我們與機器人的光明未來： 建造更美好的世界

THE HEART AND THE CHIP:
Our Bright Future with Robots



「機器人之母」羅斯是全球第一流的機器人專家和夢想家，透過專業作家莫恩的筆，生動介紹了當今最有前瞻性的尖端科技。內容涵蓋三個重點領域，彼此相互關聯：

一、機器人技術：機器人並不是我們以為的，模樣很像人的機器。只要是可用軟體程式控制的機械裝置，例如無人機、自駕車、像鋼鐵人的那身硬殼裝備、以及安裝了晶片的機能服裝，都可以稱為機器人，重點是它必須能感測、能分析評判、並做出反應。

二、AI：人工智慧與人類智能之間，有本質上的區別，我們必須讓 AI 在非常具體的特定領域，幫助我們進行推理和決策。

三、機器學習：這是當今 AI 技術的基石，但機器學習和 AI 常遭混淆。AI 已然成為商業和市場行銷的流行語彙，但你可以將機器學習視為模式辨識系統，負責支援 AI，幫助 AI 系統執行更高階的決策和推論。

如今，一場劃時代的機器人革命正在進行，愈來愈多的智慧機器將會在各個領域（產業、醫

療、環保、教育、旅遊、探索太空等），影響我們的工作與生活，而我們正處於很令人興奮的風口浪尖上。這項技術愈是蓬勃發展及廣泛應用，愈會造成人心與智慧機器之間的緊張關係，羅斯也提出了對策，要讓機器人的力量用於為人服務，為每個人打造更美好的未來。

作者簡介

• 丹妮拉·羅斯 (Daniela Rus)

麻省理工學院「電腦科學暨人工智慧實驗室」(CSAIL) 主任，維特比 (Andrew and Erna Viterbi) 電機工程暨電腦科學講座教授，康乃爾大學電腦科學博士。研究興趣是機器人、行動運算和資料科學。

擁有多項榮銜：2002 年麥克阿瑟獎得主、電腦學會 (ACM) 會士、人工智慧促進協會 (AAAI) 會士、國際電機電子工程師協會 (IEEE) 會士、美國國家工程院 (NAE) 院士、美國文理科學院 (AAAS) 院士。

• 葛瑞格里·莫恩 (Gregory Mone)

十四本成人書籍與童書的作者或合著者，其中包括《紐約時報》暢銷書《科學大世界》、《關於聖誕老人的真相》、與奈伊 (Bill Nye) 合著的《傑克與天才》系列小說。莫恩將多本非小說書籍改編成適合年輕讀者的暢銷書，包括泰森 (Neil deGrasse Tyson) 的《船上的男孩》、《安靜》和《宇宙必修課》。著作已翻譯成十二種語言，並入圍多項美國圖書獎和國際圖書獎。

無料 AI

ChatGPT + DeepSeek + Gemini + Perplexity + Copilot + Claude + NotebookLM + Coze + Felo + Dzine + ElevenLabs + Suno + Stable + Audio + Runway + Sora + Gamma
文字、筆記、搜尋、繪圖、動漫、視覺、語音、音效、音樂、影片、簡報

AI Agent – 創意無限



【免費】×【強大】×【即學即用】

【17 套免費 AI 工具】×【21 個主題的全方位應用指南】

這不是一本教你「什麼是 AI」的書，而是一本帶你「怎麼用 AI 改變自己」的行動手冊！

◎本書不談艱深技術，強調實用操作與應用創造，讓你無痛上手、即學即用！

◎不論你是學生、老師、上班族還是創作者，都能在這本書中找到最適合你的 AI 助手與創作流程。

作者簡介

• 洪錦魁

畢業於明志工專（現今明志科技大學），跳級留學美國 University of Mississippi 計算機系研究所。

2023 年和 2024 年連續 2 年獲選博客來 10 大暢銷華文作家，多年來唯一電腦書籍作者獲選，也是一位跨越電腦作業系統與科技時代的電腦專家，著作等身的作家，下列是他在各時期的代表作品。

- ▶ DOS 時代：「IBM PC 組合語言、Basic、C、C++、Pascal、資料結構」。
- ▶ Windows 時代：「Windows Programming 使用 C、Visual Basic」。
- ▶ Internet 時代：「網頁設計使用 HTML」。
- ▶ 大數據時代：「R 語言邁向 Big Data 之路、Python 王者歸來」。
- ▶ AI 時代：「機器學習數學、微積分 + Python 實作」、「AI 視覺、AI 之眼」。
- ▶ 通用 AI 時代：「ChatGPT、Copilot、無料 AI、AI 職場、AI 行銷、AI 影片、AI 賺錢術」。

作品曾被翻譯為簡體中文、馬來西亞文，英文，近年來作品則是在北京清華大學和台灣深智同步發行。

他的多本著作皆曾登上天瓏、博客來、Momo 電腦書類，不同時期暢銷排行榜第 1 名，他的著作特色是，所有程式語法或是功能解說會依特性分類，同時以實用的程式範例做說明，不賣弄學問，讓整本書淺顯易懂，讀者可以由他的著作事半功倍輕鬆掌握相關知識。

客製化
企業包班

量身打造專屬培訓課程

30%ff

政府補助最低七折起
提升企業永續競爭力針對單一企業、關係企業、上下游
整合廠或有興趣之廠商，依據需求
設計課程辦理員工培訓，協會提供
講師、場地安排、行政事務等一切
庶務，節省企業執行成本。

時間

總時數達6小時
(含)以上即符合
課程開立標準

地點

可於貴司內部場
地上課或是
指定之設施場地

講師

企業指定講師或
由協會尋找
適合的優秀講師

內容

依公司需求安排
教育訓練課程
內容及專屬教材AI智慧製造
智慧資安策略碳盤查
ESG永續經營機械手臂
機器人技術專案管理技巧
六大核心工具企業包班請洽詢 ⊙ 王小姐 04-23581866 #52 candice@tairoa.org
凌小姐 04-23581866 #51 joy@tairoa.org社團法人台灣智慧自動化
與機器人協會

114 年度 – 課程資訊

開課時間	課程名稱	課程時數	開課地點
8/26、9/4	【經濟部產發署補助】AI 深度學習於電腦視覺與時序建模應用	12	台北
8/28-8/29	【經濟部產發署補助】AI 影像辨識及生成式模型開發	12	台北
9/4-9/5	【免費課程】自動化產業導入碳管理 -AI 工具實戰課程	10	台北
9/18-9/19	【經濟部產發署補助】製程設備 SECS 及 GEM 連線技術	12	台中
9/25-9/26	【免費課程】自動化產業導入碳管理 -AI 工具實戰課程	10	台中
10/2-10/3	【免費課程】自動化產業導入碳管理 -AI 工具實戰課程	10	台中
10/2-10/3	【經濟部產發署補助】AMR 自主移動機器人技術整合應用	12	台中
10/16-10/17	【經濟部產發署補助】生管流程分析與 AI 數位模擬	12	台中

◎更多課程請上網查詢：<http://www.tairoa.org.tw/> ◎洽詢專線：04-23581866*52 王小姐、51 凌小姐

- ▶ 公司有培訓計畫及需求嗎？智動協會可提供您智慧自動化及機器人領域的「客製化」培訓課程規劃及辦理！歡迎您來電詢問**企業包班**詳情。
- ▶ 智動協會提供海外人才培訓服務，歡迎企業及團體與我們連繫。

★智動協會保有課程更動權利，並設有最低開班人數 10 人；如未達開班標準，學員自付金額將全數退還。



課程詳情請掃 QR CODE

2025 – 2026 國際展覽資訊一覽表

智動協會 2025.7 製

▼ 2025 國際展覽行事曆

08/20-08/23	台灣機器人與智慧自動化展 TAIROS 台北國際自動化工業大展 Automation Taipei 台灣 臺北南港展覽館	協會主辦
09/23-09/27	上海工博會 中國 上海 國家會展中心	
10/8-10/10	日本 AI 人工智慧應用展 AI EXPO TOKYO〔秋展〕 日本 千葉幕張展覽館 (Makuhari Messe)	參展優惠
10/29-10/31	Factory Innovation Week 日本國際機器人研發暨技術大展 RoboDEX 日本 名古屋國際展示場 (Port Messe Nagoya)	參展優惠
11/05-11/08	韓國機器人展覽會 Robotworld 韓國 國際展覽中心 (KINTEX)	參展優惠
11/25-11/27	歐洲工業自動化展 Smart Production Solutions 德國 紐倫堡展覽中心 (Nuremberg Exhibition Centre)	
12/03-12/06	日本國際機器人展 iREX 日本 東京有明展覽中心 Tokyo Big Sight	組參展團、參訪團 貿易署從優補助

▼ 2026 國際展覽行事曆

01/21-01/23	日本國際機器人研發暨技術大展 RoboDEX 日本 東京國際展覽中心 (Tokyo Big Sight)	參展優惠
03/11-03/13	泰國電子智慧製造系列展 2026 Intelligent Asia Thailand 泰國 曼谷國際貿易展覽中心 (BITEC)	組參展團 擬申請貿易署補助
04/08-04/10	日本名古屋工業製造週 Manufacturing World Nagoya 2026 日本 名古屋市國際展示場 Portmesse Nagoya	
04/08-04/10	韓國國際電子製造關連展 EMK 韓國 首爾 COEX 展覽中心 (CONvention & EXhibition)	參展優惠
04/15-04/17	日本 AI 人工智慧應用展 AI EXPO TOKYO〔春展〕 日本 東京國際展覽中心 (Tokyo Big Sight)	組參展團 擬申請貿易署補助
04/20-04/24	德國漢諾威工業展 Hannover Messe 德國 漢諾威展覽中心 (Hannover Exhibition Centre)	
05/20-05/23	馬來西亞工具機暨金屬加工設備展 Metaltech 馬來西亞 吉隆坡馬來西亞國際貿易展覽中心 (MITEC)	
06/17-06/20	泰國國際組裝暨自動化零組件展 Assembly & Automation Technology 泰國 曼谷 BITEC 國際貿易展覽中心	
06/22-06/25	美國芝加哥自動化技術展 Automate Show 美國 芝加哥 McCormick Place	
07/1-07/4	越南胡志明市工具機暨金屬加工設備展 MTA Vietnam 越南 胡志明市 西貢會議展覽中心 (SECC)	
09/14-09/19	IMTS 美國工具機展 美國 芝加哥 邁考密會展中心 (McCormick Place)	

備註：本表籌組參展為預訂行程，將依實際獲得貿易署補助後執行，歡迎洽詢業務組，
電話 04-2358-1866 #14 (Fion)、#22 (Iris)、#26 (Eva)

TAIROA 廣告宣傳服務

這是一本專屬服務智慧自動化及機器人領域的出版品，內容涵蓋產品技術發展、市場趨勢、展覽推廣、國際商情、創新拓銷、學術研究計畫推廣…等內容。我們同時提供廣告版面給廠商，紙本印刷與協會公開性活動（媒合會、展覽等）傳遞到各領域對智動化與機器人有興趣的企業手上，智動產業期刊為您創造最寬廣的廣告效果。

AIR 期刊廣告價目表

項目	一期（指定 8 月）		一期（限 3、6、12 月擇一）		二期（限 3、6、12 月擇二）		全年度（四期）	
	會員	非會員	會員	非會員	會員	非會員	會員	非會員
封面	100,000	125,000	80,000	105,000	150,000	175,000	280,000	305,000
* 加贈當期一篇主題稿件（須配合當季主題） * 搭配 Automation Taipei & TAIROS 展期 2000 本以上發放								
項目	一期		二期		全年度（四期）			
封底	會員 70,000		非會員 95,000		會員 130,000		非會員 155,000	
封面裡	50,000		75,000		90,000		115,000	
封底裡	50,000		75,000		90,000		115,000	
內頁廣告	30,000		55,000		50,000		75,000	
跨頁廣告	45,000		65,000		80,000		105,000	

備註：1. 廣告刊登通過 2 期（含），享有原價 9 折 2. 價格優惠至 2025 年 12 月 31 日止 3. 會員以團體會員為主 幣值：TWD

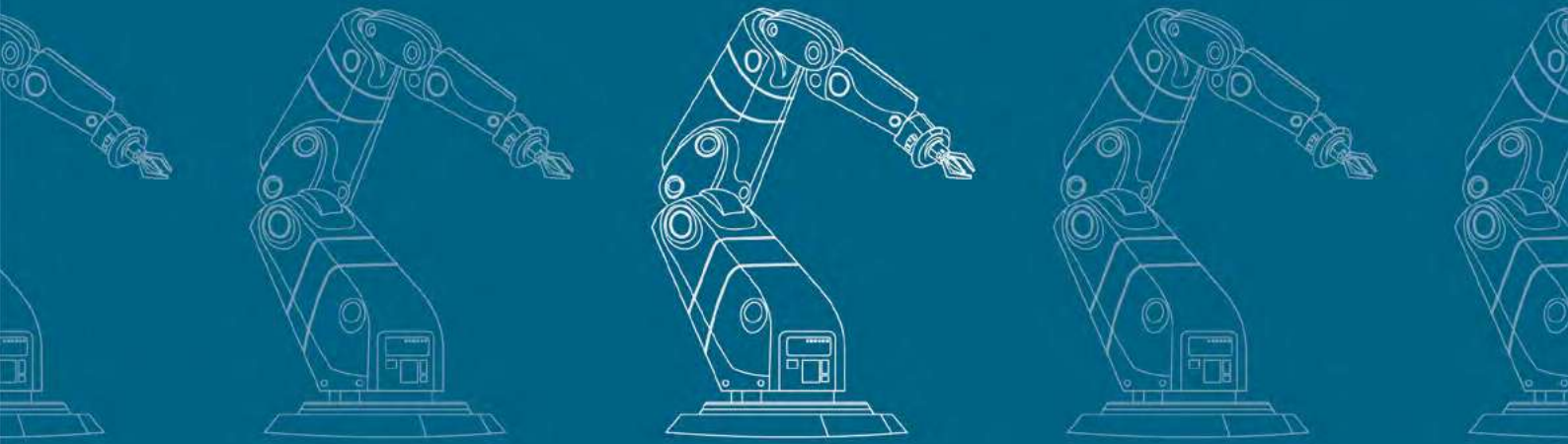
TAIROA 網站／B2B 平台廣告價目表

項目	會員	聯盟會員	非會員	期限 / 次數	項目	會員	聯盟會員	非會員	期限 / 次數
協會官網活動公告	免費	⊗	⊗	1 季 / 1 次	TAIROA B2B	8,000	13,000	18,000	30 天
LINE 社群	免費	⊗	⊗	不限次	產業消息 – 大型橫幅 Banner (含每月電子報)	12,800	20,800	28,800	60 天
協會每月電子報	15,000	15,000	20,000	3 次 / 季		18,000	29,000	40,000	90 天
協會官網大型橫幅 Banner	25,000	25,000	30,000	90 天	TAIROA B2B	免費	免費	8,000	1 / 季
協會官網中央方形 Banner	25,000	25,000	30,000	90 天	產業消息 – 新聞稿曝光 (含每月電子報 + 推薦文章置放)	8,000	9,600	12,800	2 篇
小型橫幅 Banner (前 4 版位)	30,000	30,000	35,000	一年		10,000	15,000	18,000	3 篇
小型橫幅 Banner (後 6 版位)	20,000	20,000	30,000	一年	TAIROA B2B 活動上架 (含報名系統 + 讀者預約系統 + 每月電子報)	30,000	35,000	50,000	1 場
TAIROA B2B	15,000	20,000	25,000	30 天		48,000	56,000	80,000	2 場
首頁大型 Banner	24,000	32,000	40,000	60 天		68,000	78,000	112,000	3 場
(含每月電子報)	34,000	45,000	56,000	90 天	TAIROA B2B 活動快訊 (EDM 發送)	15,000	20,000	25,000	1 次
TAIROA B2B	10,000	15,000	20,000	30 天		24,000	32,000	40,000	2 次
活動大型橫幅 Banner	16,000	24,000	32,000	60 天		34,000	45,000	56,000	3 次
(含每月電子報)	22,000	34,000	45,000	90 天	TAIROA B2B 每月電子報 大型橫幅 Banner	10,000	15,000	20,000	1 次
TAIROA B2B	8,000	13,000	18,000	30 天		16,000	24,000	32,000	2 次
產業地圖 – 精選產品 (含每月電子報)	12,800	20,800	28,800	60 天		22,000	34,000	45,000	3 次
	18,000	29,000	40,000	90 天	TAIROA B2B 每月電子報 中央方形 Banner	8,000	13,000	18,000	1 次
TAIROA B2B	8,000	13,000	18,000	30 天		12,800	20,800	28,800	2 次
虛擬展館 – 輪播 Banner (含每月電子報)	12,800	20,800	28,800	60 天		18,000	29,000	40,000	3 次
	18,000	29,000	40,000	90 天					

廣告洽詢

社團法人台灣智慧自動化與機器人協會
Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association (TAIROA)
張小姐

E-mail：iris@tairoa.org
地址：408 台中市南屯區精科路 26 號 4 樓
電話：+886-4-2358-1866#22
傳真：+886-4-2358-1566
協會網址：www.tairoa.org.tw



智馭未來：仿生機器人

www.tairoa.org.tw

TAIROA 台中 × TAIRAO 台北

40852 台中市南屯區精科路26號4樓
4F., No. 26, Jingke Rd., Nantun Dist.,
Taichung City 40852, Taiwan

TEL:886-4-2358-1866

FAX:04-2358-1566

EMAIL:service@tairoa.org.tw

10059 台北市新生南路一段50號6樓603室

Rm. 603, 6F., No 50, Sec. 1, Xincheng S. Rd.,
Zhongzheng Dist., Taipei City 100, Taiwan

TEL:886-2-2393-1413

FAX:02-2393-1405

EMAIL:exam@tairoa.org.tw



印刷品

如無法投遞，請退回至：
台中市南屯區精科路 26 號 4 樓

定價
NT\$500