

產業用語指引手冊

人型機器人篇



國立成功大學
雙語教育推動辦公室

序言(Preface)

這份《人形機器人產業用語指引手冊》旨在為快速發展的具身智能 (Embodied AI) 與人型機器人領域，提供一套標準化的中英雙語專業辭彙參照。隨著人工智慧與精密機械結構的深度融合，人形機器人已從實驗室走向產業化，成為展現國家科技競爭力的關鍵領域。

本手冊由國立成功大學雙語教育推動辦公室編撰，核心內容涵蓋了從硬體架構到高階認知決策的全方位技術範疇：

1. 實體架構與核心動力：深入解析機器人的「肌肉與骨骼」，包含由驅動馬達 (Drive Motor)、減速器 (Reducer) 導螺桿 (Lead Screw) 動力系統 (Powertrain System)，以及確保機體穩定運行的能源與熱管理系統。
2. 運算中樞與控制神經網：類比人類大腦與小腦的分層架構，介紹處理高階決策的系統單晶片 (SoC)，以及負責即時平衡與步態規劃的核心控制演算法，如 MPC (模型預測控制) 與 ZMP (零矩點) 理論。
3. 通訊系統與分散式架構：探討確保機體內部毫秒級響應的 EtherCAT 與 CAN Bus 協定，以及結合 5G 與雲、網、端的分散式運算模型。
4. 多模態感知與自主學習：詳述機器人如何透過視覺、聽覺及本體感受理解環境，並介紹強化學習 (RL)、模仿學習 (IL) 視覺-語言-動作 (VLA) 模型，展現機器人從感知到認知的進化路徑。
5. 末端執行器與進階感知：專注於機器人與物理世界互動的前哨——靈巧手 (Dexterous Hand) 電子皮膚 (Electronic Skin)，揭示實現精細操作的機械與材料基礎。

我們希望透過本手冊的建立，能協助產業人士、研究人員及學子精確掌握具身智能的專業用語，並在國際學術交流與產業協作中，建立高效且準確的溝通橋樑。

註：本手冊內之插圖皆由 AI 技術生成。

目錄(contents)

序言(Preface)	i
第一章：人型機器人總體架構與動力系統.....	1
1.1 機器人硬體總架構	1
1.2 動力系統與執行器分類.....	2
1.3 核心傳動組件.....	3
1.4 能源供應與熱管理系統.....	5
第二章：運算中樞與神經控制網路	7
2.1 神經系統類比與大腦層級架構	7
2.2 小腦層級與快速反應中樞.....	9
2.3 核心控制演算法	9
第三章：通訊系統與分散式架構.....	11
3.1 四大通訊層級架構	11
3.2 內部通訊協定.....	13
3.3 無線連網與 5G 遠端通訊	14
3.4 雲、網、端分散式架構.....	15
第四章：多模態感知與環境互動.....	17
4.1 內部本體感受.....	17
4.2 外部感知技術.....	18
第五章：自主學習與認知決策.....	20
5.1 資料融合與濾波技術	20
5.2 手腦協同與 VLA 模型	21
5.3 空間定位與地圖構建(SLAM).....	22
5.4 機器人自主學習	22
第六章：末端執行器：靈巧手技術	24
6.1 靈巧手核心系統與仿生結構.....	24
6.2 動力驅動與微型馬達	25
6.3 輕量化傳動設計與仿生肌腱.....	26
第七章：進階感知：電子皮膚技術	27
7.1 電子皮膚三層仿生結構.....	27
7.2 物理傳感原理與多模態感知能力	31
附錄：電動車產業中英文專業用語彙整表 (Glossary)	33

第一章：人型機器人總體架構與動力系統

人型機器人的發展基石，在於其高度仿生且精密的實體硬體架構。本章將帶領讀者宏觀檢視機器人的全身系統，並深入解析其核心的「動力系統(Powertrain System)」。從產生動能的驅動馬達，到精確傳遞力量的減速器與導螺桿，這些精密組件如同人類的骨骼與肌肉，透過旋轉與線性等不同型態的致動器，賦予機器人靈活且具爆發力的肢體動作。了解這些硬體基礎與物理傳動機制，是掌握人型機器人如何在真實世界中穩定運作的第一步。

1.1 機器人硬體總架構

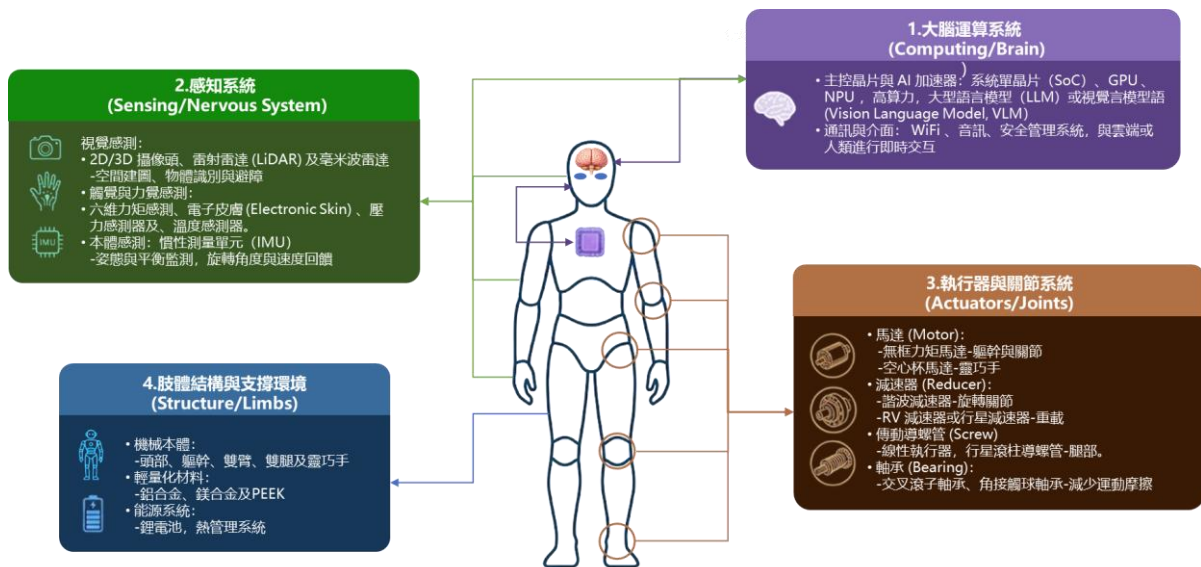


圖 1 人型機器人硬體架構示意圖

圖中透過大腦運算系統(Computing / Brain)進行決策、感知系統(Sensing / Nervous System)採集環境資訊，並驅動精密執行器與關節系統(Actuators / Joints)於輕量化肢體結構(Structure / Limbs)上產生動作，構建出一個高度協同的機械生命體。這種模組化設計是達成機器人通用化與靈巧操作的物理基石，展示了當前具身智能硬體發展的全貌。

1.2 動力系統與執行器分類

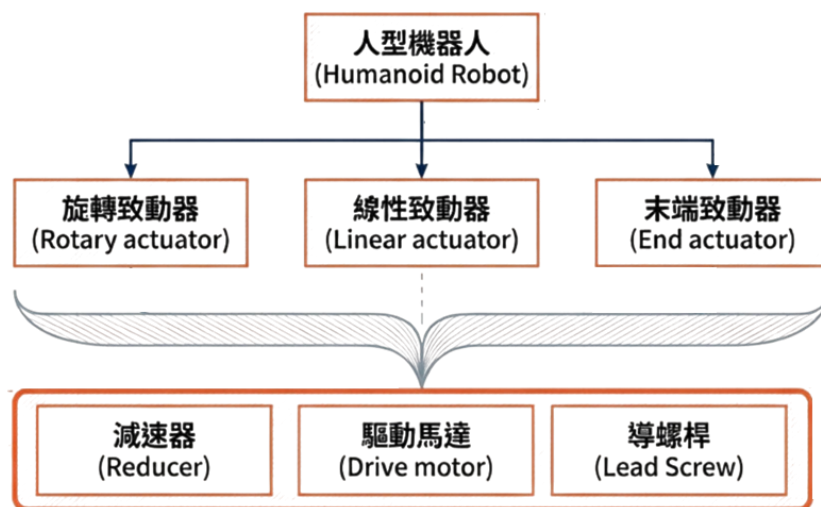


圖 2 動力系統(Powertrain System)架構示意圖

圖中該架構將肢體運動區分為旋轉(Rotary)、線性(Linear)與末端((End)致動器(Actuator)三大類別，並統一由驅動馬達(Drive Motor)、減速器(Reducer)與導螺桿(Lead Screw)作為底層核心組件。透過這些精密組件的模組化組合，機器人得以在多自由度的關節中實現高效且精確的動力傳輸，為複雜環境下的具身智能運作提供物理動能。

旋轉致動器(Rotary actuator)

線性致動器(Linear actuator)

末端致動器(End actuator)



圖 3 致動器(Actuator)示意圖

圖中說明人型機器人實現全身協同運動的三大類執行器架構，系統透過旋轉致動器(Rotary actuator)達成關節的靈活轉向，線性致動器(Linear actuator)提供強大的直線驅動力，並由末端致動器(End actuator)完成精細的物體操控任務。這類專業化的致動設計是仿人機器人能展現如人類般自然姿態與高難度具身智能動作的關鍵硬體基礎。

1.3 核心傳動組件

精準控制與扭矩轉換的關鍵

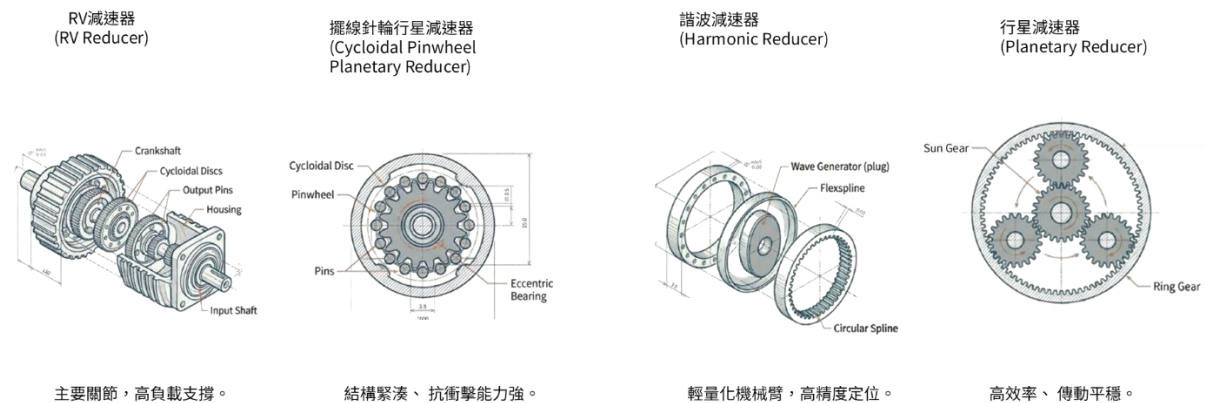


圖 4 減速器(Reducer)示意圖

圖中展示了人型機器人實現精準運動控制的四類核心減速器(Reducer)技術，透過將 RV 減速器的高承載力應用於大關節，並將諧波(Harmonic)與行星減速器(Planetary Reducer)的輕便、高精度特性應用於肢體末端，機器人得以在保持結構緊湊的同時，展現出強大的力量與細膩的操作精度。這是確保人型機器人能穩定行走並執行精細交互任務的機械核心。

動力源與效率的極致追求

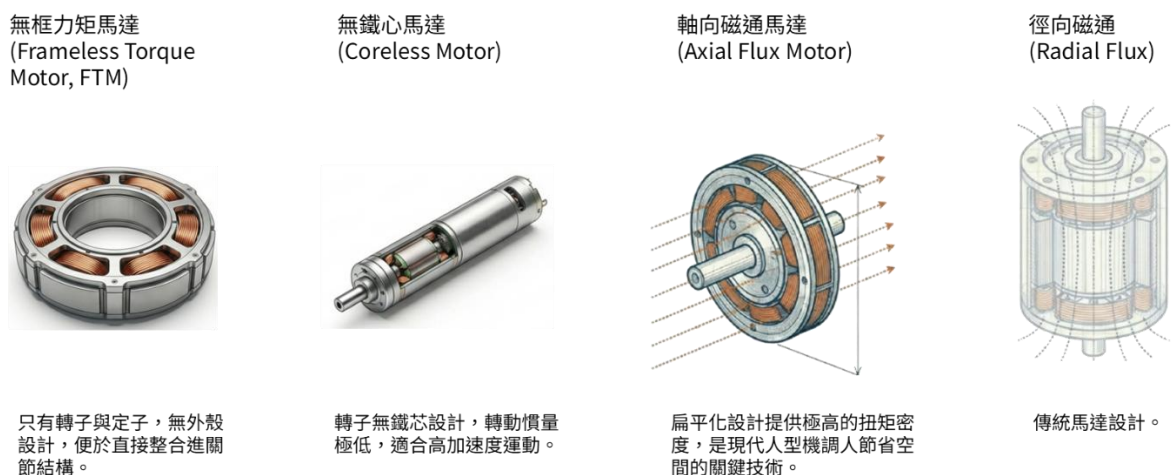


圖 5 驅動馬達(Drive Motor)示意圖

圖中解析人型機器人實現高效運動的四類特化驅動馬達，透過無框馬達(Frameless Torque Motors)的結構集成、無鐵心馬達(Coreless Motor)的高動態響應，以及軸向磁通馬達(Axial Flux Motor)的高扭矩密度，這些「機械肌肉」賦予了機器人兼具力量與靈巧的運動表現。

旋轉至線性的精確轉換

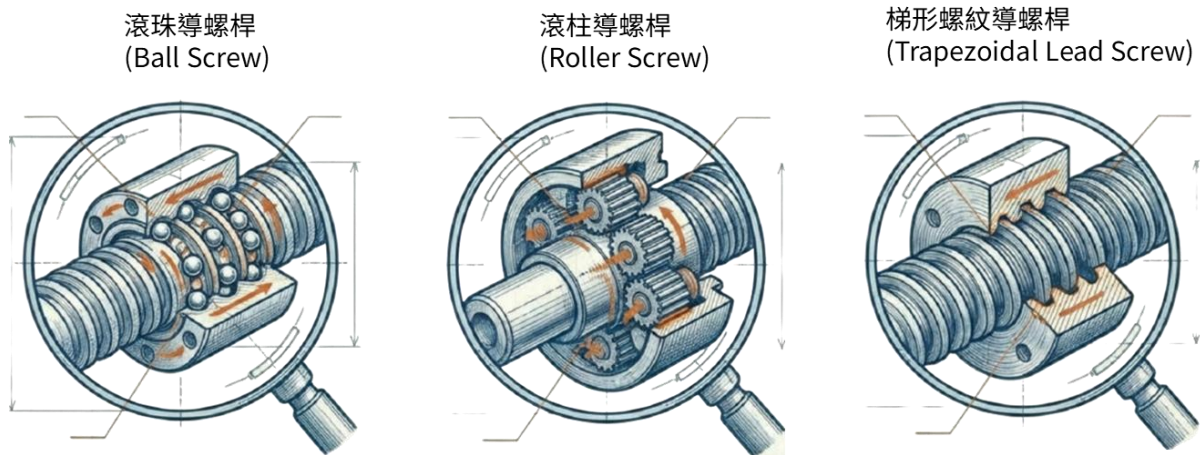


圖 6 導螺桿(Lead Screw)示意圖

圖中展示導螺桿將馬達旋轉動力轉化為直線位移的機械構造，藉由螺桿與螺帽的精密咬合，系統能達成高負載、高精度的推拉控制，是人型機器人線性致動器實現強大肢體支撐力與穩定運動的核心組件。在人型機器人的設計中，導螺桿(Lead Screw)是將馬達的「旋轉運動」轉換為「直線運動」的關鍵零組件。根據摩擦力、負載能力與精密度的不同，主要分為以下三大類：1. 滾珠導螺桿(Ball Screw)：目前工業機器人與部分人型機器人最常採用的主流技術，螺帽內部裝滿了循環滾珠，將摩擦從「滑動」變為「滾動」；2. 滾柱導螺桿(Roller Screw)：目前頂級人型機器人的首選，使用多根帶螺紋的小滾柱環繞在主螺桿周圍；3. 梯形螺紋導螺桿(Trapezoidal Screw)：這是最基礎的類型，螺桿與螺帽之間透過直接滑動摩擦來傳遞動力。

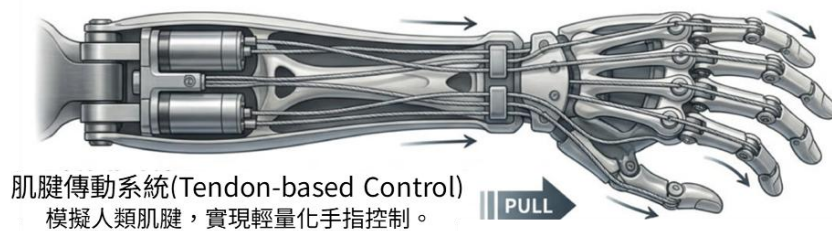


圖 7 柔性傳動(Flexible Transmission)示意圖

圖中說明人型機器人實現「仿生」的肌腱傳動系統(Tendon-base System)關鍵技術，它的核心理念是模仿人類的肌肉—骨骼系統，透過線纜(肌腱)拉動骨架(連桿)來產生動作，而非將馬達直接安裝在關節軸心上。

1.4 能源供應與熱管理系統

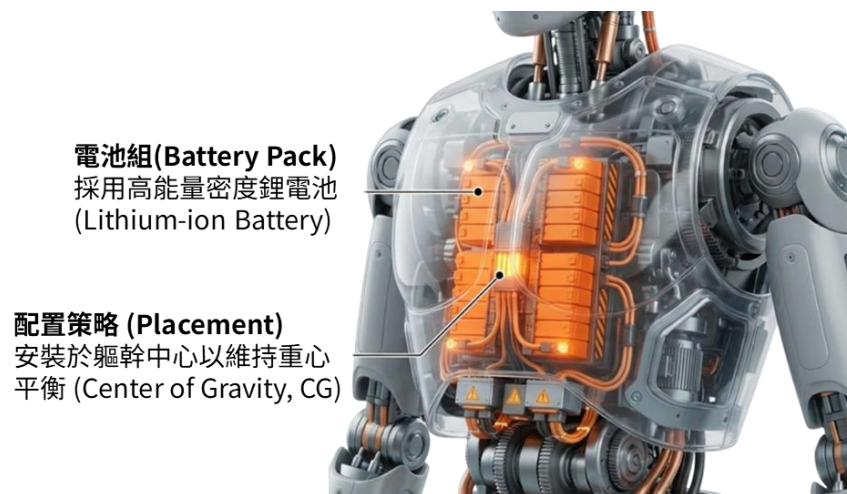


圖 8 能源供應(系統的心臟)示意圖

圖中說明能源供應是系統的心臟，電池組 (Battery Pack)採用的是高能量密度鋰電池(Lithium-ion Battery)，儲存極高的電量以應付人型機器人龐大的動能與運算需求。基於物理學的配置策略，目的是維持重心平衡 (Center of Gravity, CG)，故將其放置在身體的中軸線上，可以大幅提升雙足機器人在站立、行走或執行任務時的穩定性，避免頭重腳輕或容易傾倒。

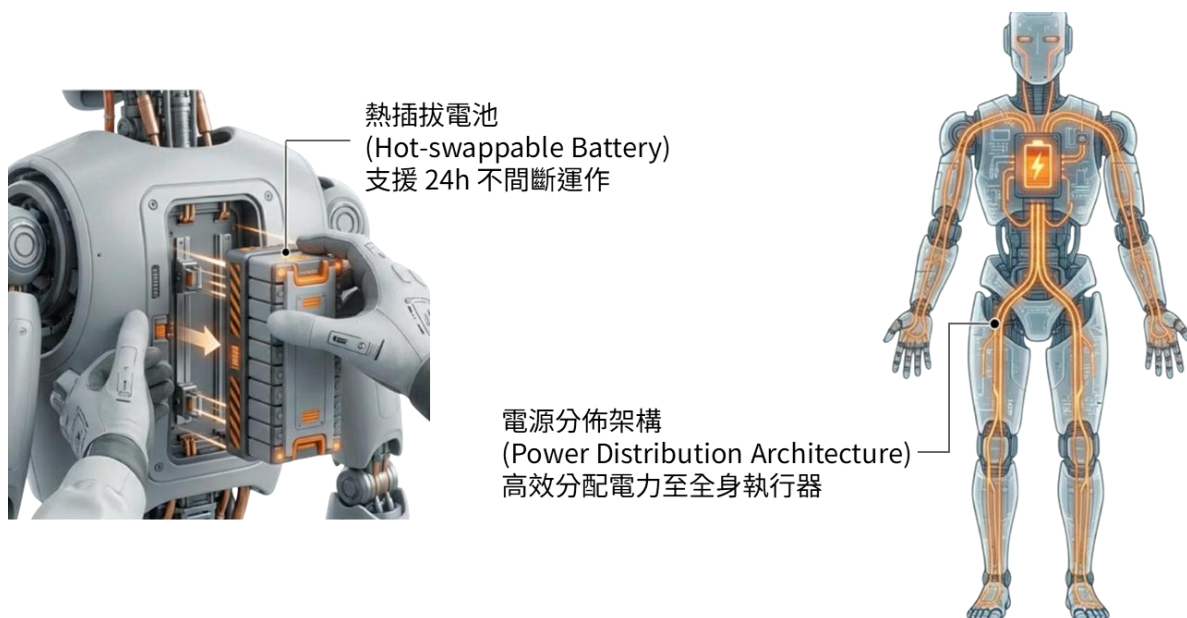


圖 9 電源管理(Power Management)與續航(Endurance)示意圖

圖中說明電源管理與續航(Power Management and Endurance)主要能維持機器人的長時間運作，以及電力如何在體內傳輸。熱插拔電池 (Hot-swappable Battery)設計允許操作人員在不關閉機器人電源的情況下，直接更換耗盡的電池，並能夠支援 24h 不間斷運作。藉由電源分佈架構 (Power

Distribution Architecture)將有電力高效的分配至全身執行器。

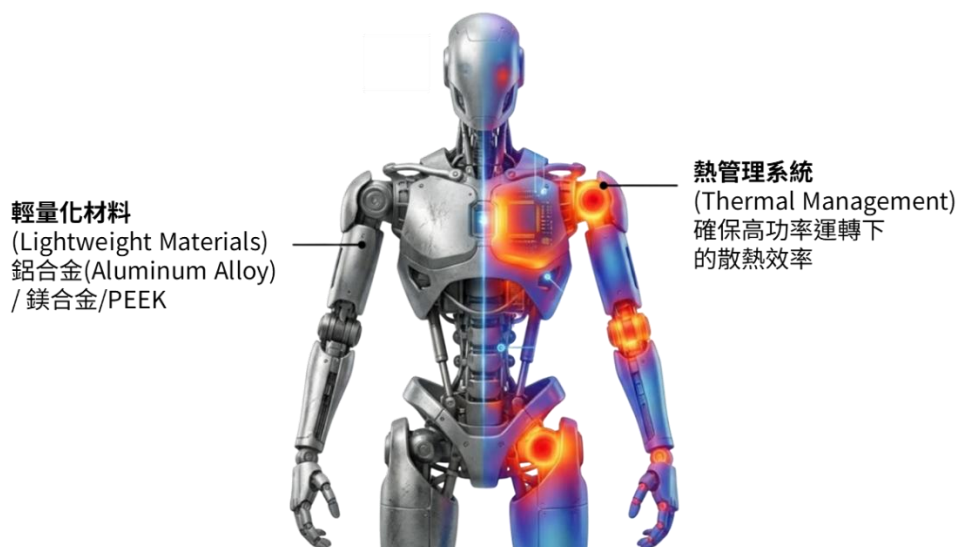


圖 10 結構材料與熱管理示意圖

圖中左側說明機器人採用輕量化材料(Lightweight Materials)來打造機體，設計是盡可能減輕機器人的自重。這不僅能降低各關節馬達的負載，還能讓動作更靈敏，並大幅提升整體電池的續航表現，並列舉了三種常見的材料，如：鋁合金(Aluminum Alloy)、鎂合金(Magnesium alloy)、及聚醚醚酮(Polyetheretherketone, PEEK)。右側指出熱管理系統 (Thermal Management)的重要性，發出橘紅光的部位，正是高功率馬達(執行器)、運算晶片或電池模組的所在位置。也就是當機器人執行高強度的動作或複雜運算時，這些零件會產生大量廢熱。熱管理系統(如散熱鰭片、液冷管線或風扇散熱)能確保高功率運轉下的散熱效率，防止機件過熱導致效能衰退、當機甚至損壞。

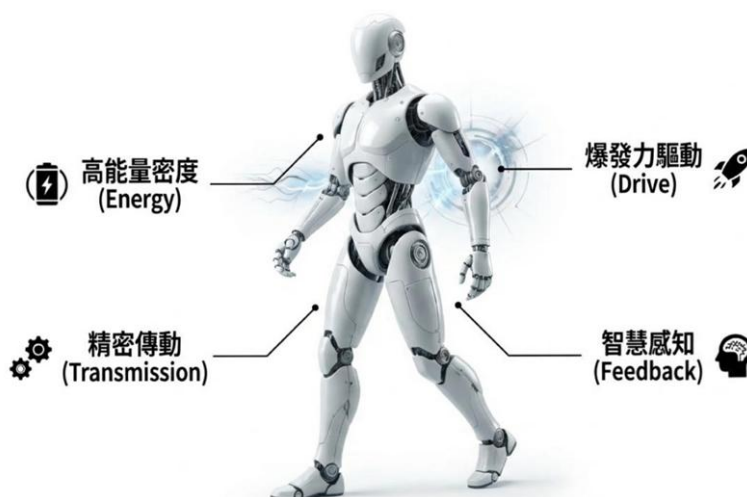


圖 11 系統整合示意圖

圖中說明一個先進的人型機器人不能只有堅固的外殼，它還必須完美結合高能量密度(Energy)、爆發力驅動(Drive)、精密傳動(Transmission)以及智慧感知(Feedback)，這四個系統缺一不可，共同建構出未來科技。

第二章：運算中樞與神經控制網路

若動力系統是機器人的軀幹，運算中樞便是其大腦與靈魂。本章聚焦於人型機器人「大腦」與「小腦」的分層控制架構。大腦層級依賴強大的運算晶片(如 GPU/NPU) 來處理多模態感知與高階認知決策，而小腦層級則專注於維持動態平衡、步態規劃與即時動作控制。透過模型預測控制(MPC) 與中樞模式生成器(CPG) 等核心控制演算法，機器人得以在複雜地形中克服重力與慣性，實現宛如人類般流暢且自然的姿態協調。

2.1 神經系統類比與大腦層級架構

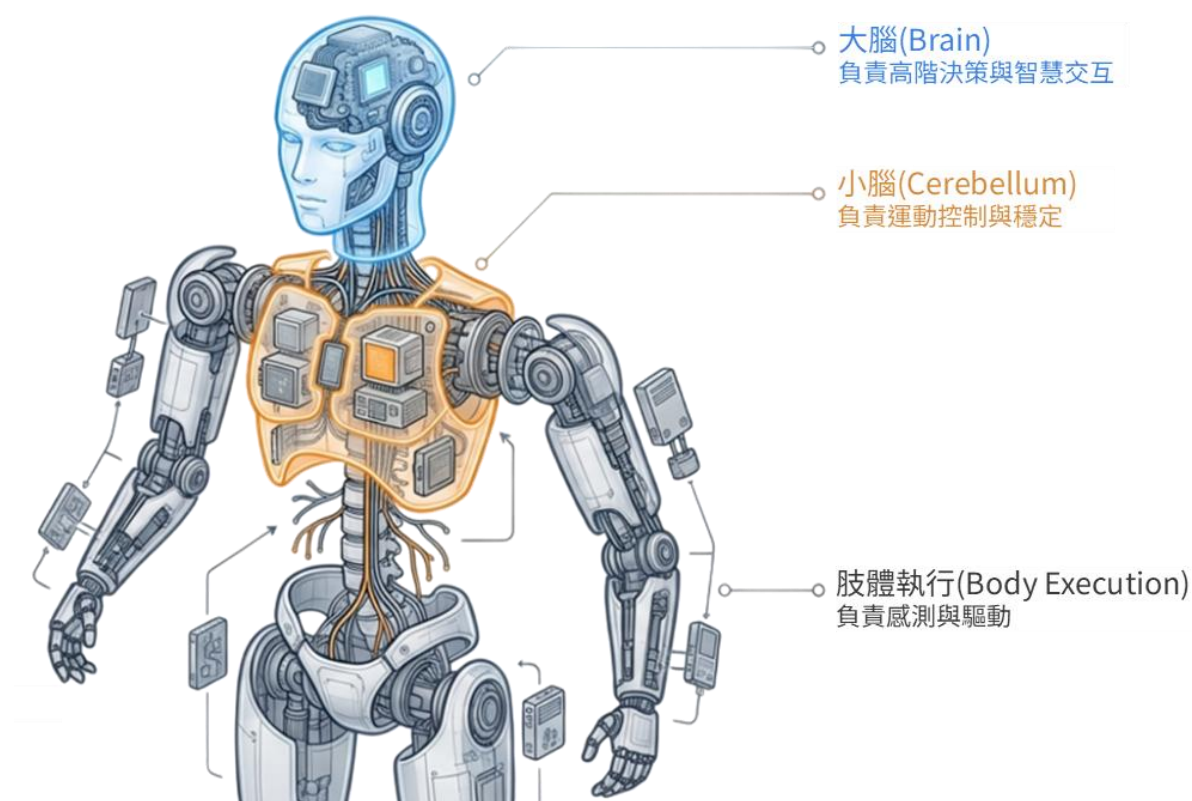


圖 12 神經系統類比示意圖

圖中借用人類的生物神經系統概念，來類比並解釋人型機器人內部的控制架構。大腦負責「思考與決策」，小腦負責「協調與平衡」，肢體負責「執行與感知」。這種由上而下(Top-down)的指令傳遞，加上由下而上(Bottom-up)的感測回饋，正是讓現代人型機器人能夠做出流暢、擬人化動作的核心關鍵。

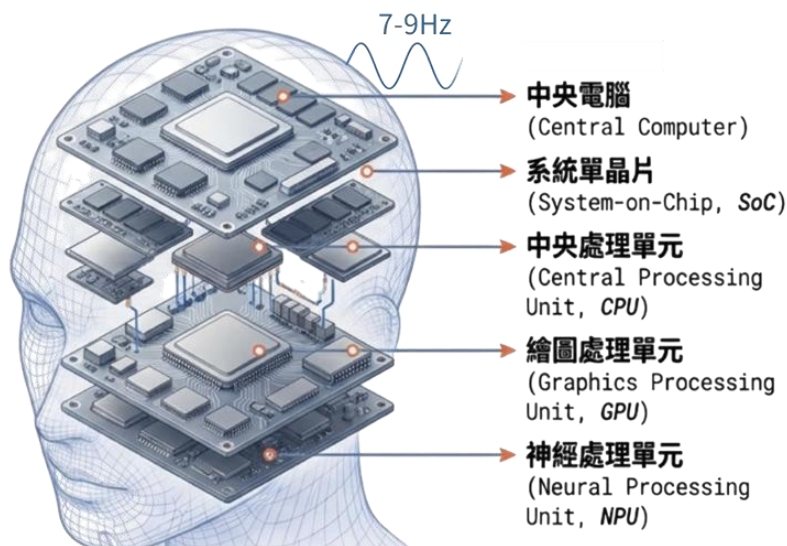


圖 13 大腦層級(中央電腦)示意圖

圖中詳述機器人的智慧並非來自單一零件，而是建立在一個分工極度精細的系統單晶片(System-on-Chip, SoC) 晶片架構上。透過中央處理單元 (Central Processing Unit, CPU)處理邏輯、繪圖處理單元 (Graphics Processing Unit, GPU) 處理視覺、神經處理單元 (Neural Processing Unit, NPU) 負責 AI 推理，三者緊密結合，才能賦予機器人快速且聰明的大腦運算能力。

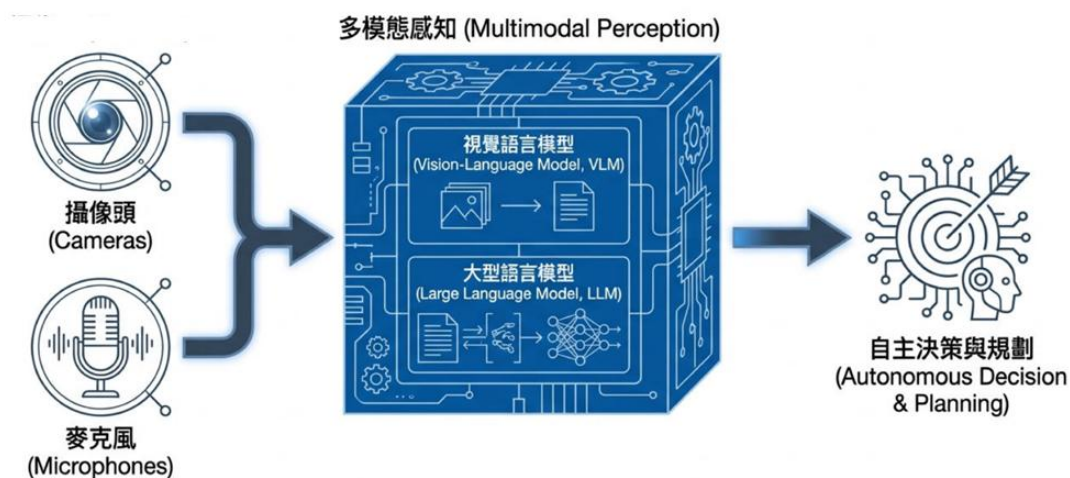


圖 14 大腦層級功能示意圖

圖中展示了一個由左至右的完整資料流，模擬人類「感知→思考→決策」的認知過程。現代機器人之所以聰明的關鍵，主要透過多模態感知 (Multimodal Perception)使系統能夠同時接收、融合並處理兩種以上的感測資訊。大型語言模型(Large Language Model, LLM)與視覺語言模型(Vision-Language Model, VLM)的結合，更具備了真正的「理解力」與「推理力」，能夠根據當下看見與聽見的複雜狀況，動態且自主地做出最合適的行動規劃。

2.2 小腦層級與快速反應中樞

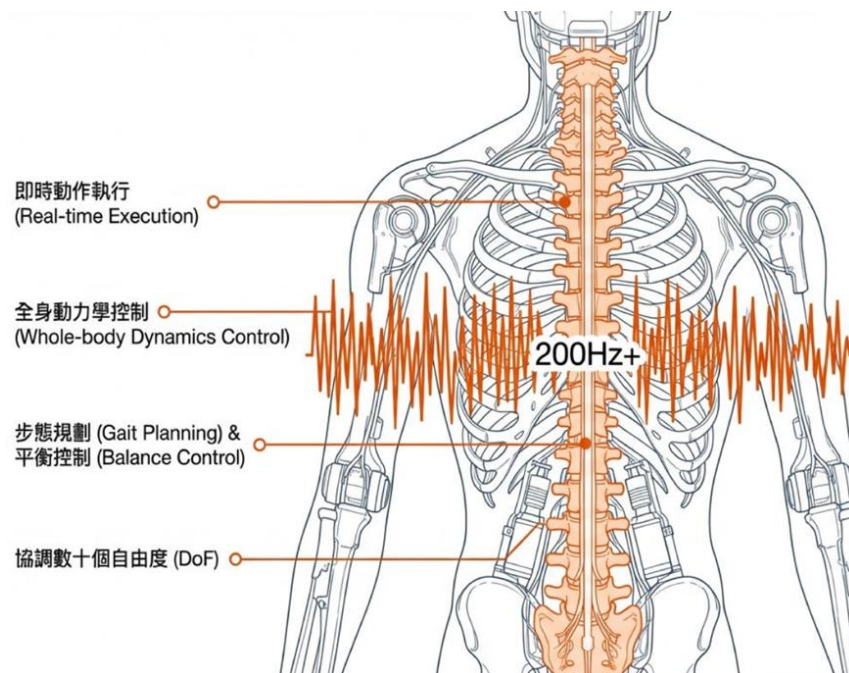


圖 15 小腦層級(快速反應的中樞)示意圖

圖中為機器人「小腦」快速反應中樞示意圖，此系統類比人體脊髓神經，以 200Hz 以上的高頻運作，專責四大底層物理控制：即時動作執行 (Real-time Execution)、全身動力學控制 (Whole-body Dynamics Control)、步態規劃 & 平衡控制 (Gait Planning & Balance Control)，以及協調數十個關節自由度(Degrees of Freedom, DoF)，以確保機體的動態穩定。

2.3 核心控制演算法

維持平衡的核心算法

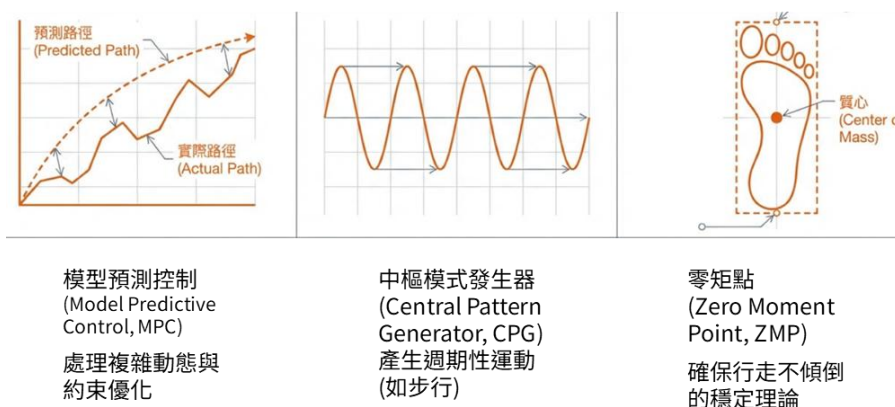


圖 16 小腦層級功能示意圖

圖中揭示小腦維持機器人平衡的三大核心演算法，負責預測未來軌跡並優化動態的模型預測控制 (Model Predictive Control, MPC)，自動產生步行等週期性規律運動的中樞模式發生器 (Central Pattern Generator, CPG)，以及確保步伐重心落在腳掌支撐範圍內避免傾倒的零矩點 (Zero Moment Point, ZMP) 理論，共同實現平穩行走。

第三章：通訊系統與分散式架構

為了讓大腦的指令能瞬間且精準地傳遞至全身各個關節，並將感測器的數據即時回傳，一套低延遲、高頻寬的通訊架構至關重要。本章將解析機器人體內的「數位神經傳導網路」，包含 CAN Bus、EtherCAT 等確保肢體高速協同的內部通訊協定。同時，也將探討結合 5G 無線通訊與「雲、網、端(Cloud-Edge-Terminal)」的分散式運算架構。此架構讓機器人能突破單體硬體的限制，借助雲端龐大的算力與知識庫，展現更為強大的具身智能。

3.1 四大通訊層級架構

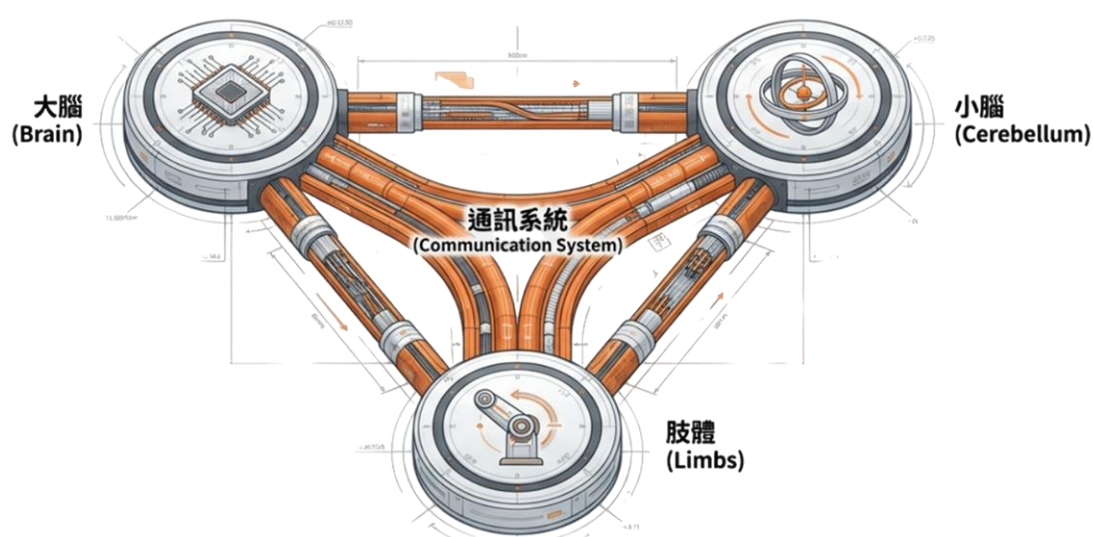


圖 17 通訊系統 (Communication System)示意圖

圖中呈現機器人的內部通訊架構，此系統宛如神經網路，將負責高階決策的大腦 (Brain)、掌控平衡與動態的小腦(Cerebellum)，以及負責執行與感知的肢體(Limbs)緊密連結。它確保指令與感測數據能在三者間高速雙向傳輸，是實現協同運作的樞紐。

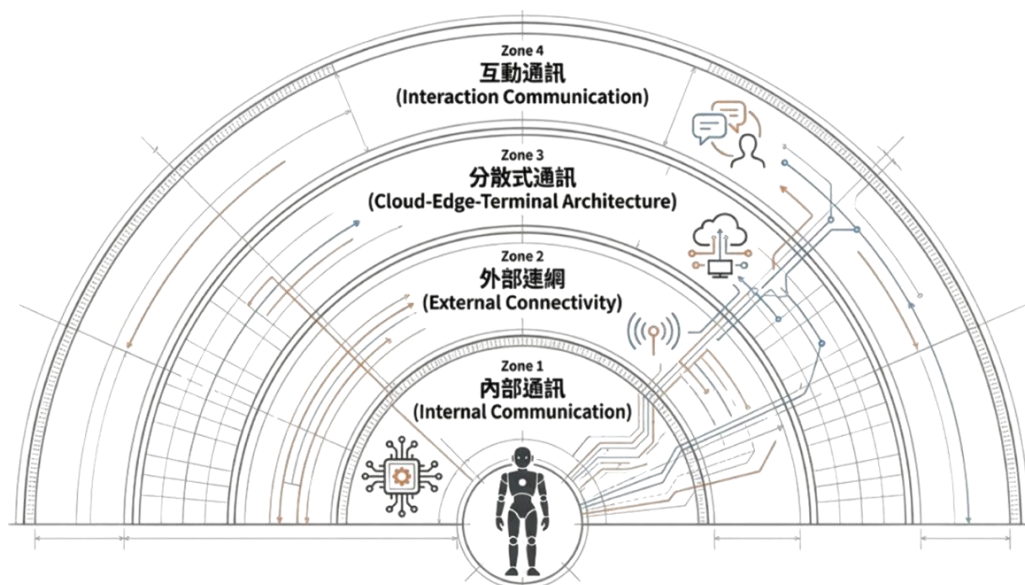


圖 18 通訊四大層級示意圖

圖中展示人型機器人的「四大通訊層級」架構，由內而外分別為：確保機體零件高速協作的內部通訊(Internal Communication); 連接網際網路的外部連網(External Connectivity); 結合雲端與邊緣運算以分擔系統算力的分散式通訊(Cloud-Edge-Terminal Architecture); 以及最高階、負責與人類進行語音及行為交流的互動通訊 (Interaction Communication)。此圖完整呈現機器人從硬體走向人類社會的資訊傳遞路徑。

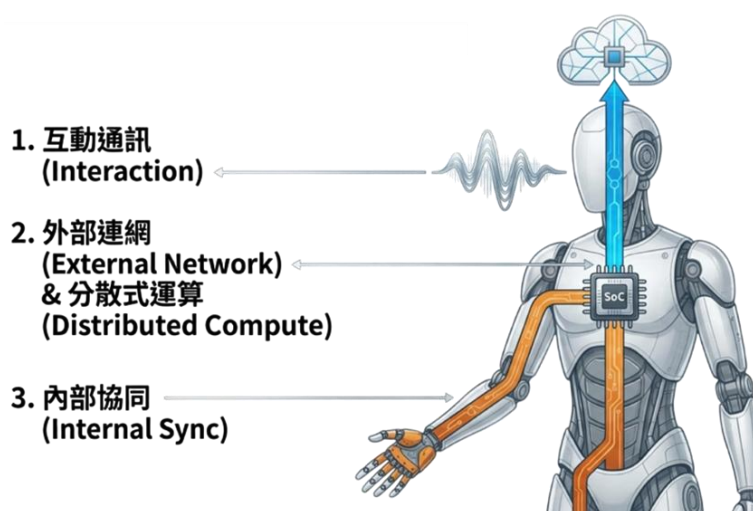


圖 19 串接大腦與肢體的全系統通訊示意圖

圖中呈現機器人的全系統通訊架構，展示三大層次，確保中央晶片與肢體馬達間高速傳輸的內部協同(Internal Sync); 連結雲端伺服器以獲取強大算力支援的外部連網(External Network)與分散式運算(Distributed Compute); 以及負責處理聲波、實現與人類自然交流的互動通訊 (Interaction)。此圖具體展現了資料於機體內外流動的完整路徑。

3.2 內部通訊協定

處理數百個感測與執行元件的即時協同

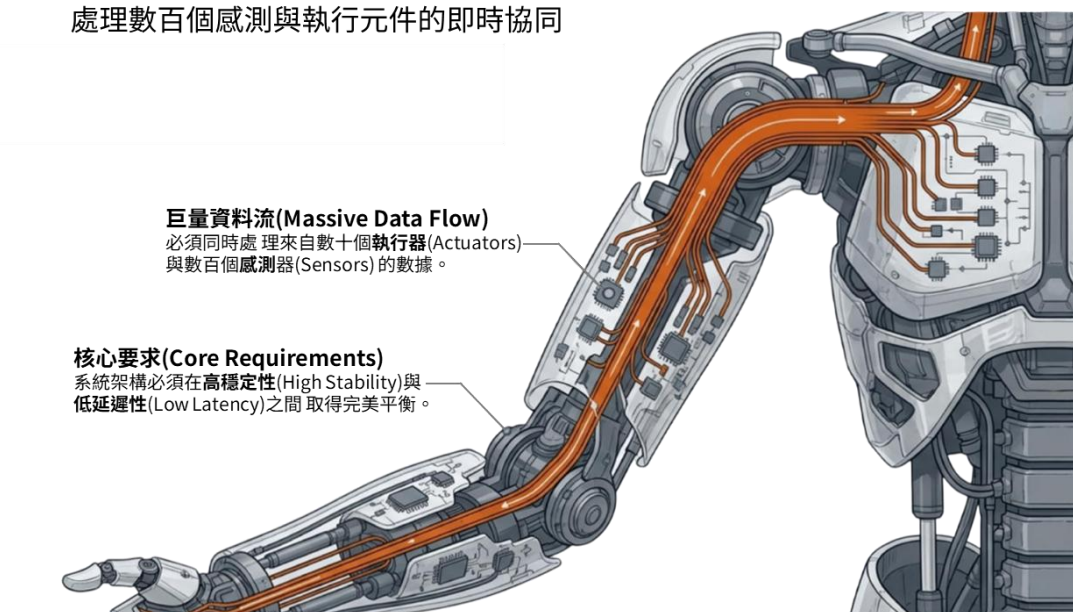


圖 20 內部通訊示意圖

圖中展示機器人的內部通訊架構，橘色管道宛如神經網路，串連中央運算單元與肢體上數十個執行器及數百個感測器。為達成即時的硬體協同運作，系統需處理瞬間湧入的巨量資料流(Massive Data Flow)。其核心要求(Core Requirements)在於必須在「高穩定性」與「低延遲性」間取得完美平衡，確保指令與回饋能瞬間傳輸，使機體動作精準無延誤。

協定 (Protocol)	主要應用 (Main Application)	特性 (Characteristics)
CAN 總線 (CAN Bus)	馬達控制、簡單傳感器 (Motor control, basic sensors)	廣泛普及、穩定 (Widely adopted, stable)
RS-485	剛性執行器 (Rigid actuators)	傳統、高可靠度 (Traditional, highly reliable)
EtherCAT	高階全身動力學協調 (High-end whole-body coordination)	極高同步性能與即時性 (Extreme real-time & synchronization)

圖 21 硬體通訊介面示意圖

圖中統整機器人內部的三種核心硬體通訊協定，CAN 總線(CAN Bus)廣泛且穩定，用於馬達與簡單感測器；RS-485 傳統高可靠，多用於剛性執行器；EtherCAT 則具備極高的即時與同步性能，是實現高階全身動力學協調的關鍵技術，展示了各協定在滿足機體控制需求上的不同定位。

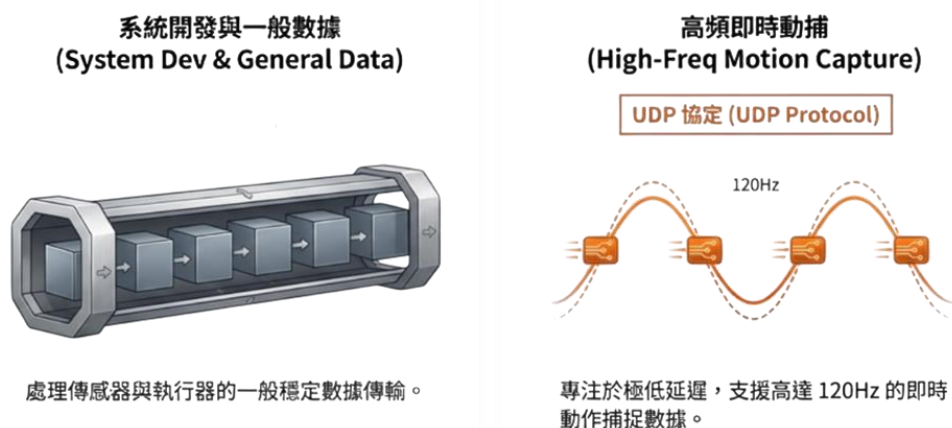


圖 22 內部網路協定示意圖

圖中展示機器人內部網路協定的兩種應用，左側為處理一般元件穩定傳輸的常規數據；右側強調高頻即時動作捕捉需採用 UDP 協定(User Datagram Protocol)，以實現極低延遲、高達 120Hz 的數據更新率，滿足即時控制需求。

3.3 無線連網與 5G 遠端通訊

將機器人從物理空間中解放

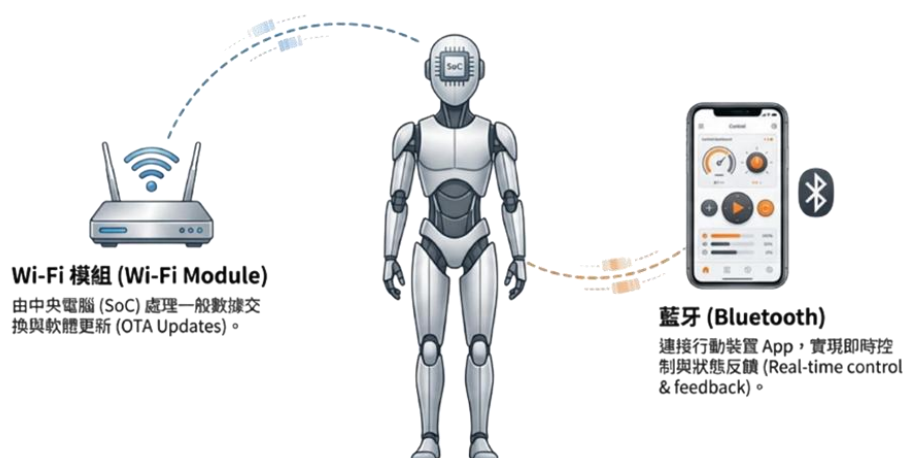


圖 23 無線連網模組示意圖

圖中展示機器人的無線連網模組，機器人透過內建通訊技術擺脫實體線材束縛；其中 Wi-Fi 負責常規數據傳輸與空中下載(Over-the-Air, OTA)軟體更新，藍牙(Bluetooth)則用於連接手機 App 以實現即時遙控與狀態監測。

超低延遲技術精準即時遠端操作

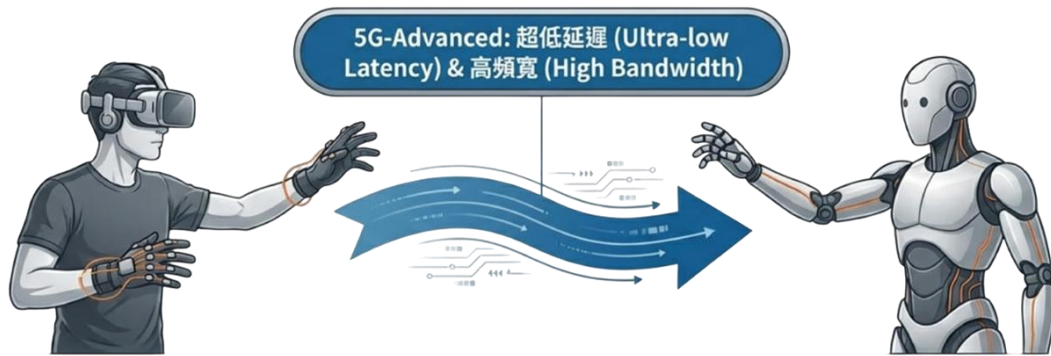


圖 24 5G 通訊示意圖

圖中展示機器人的 5G 遠端通訊操作架構，人類操作員藉由虛擬實境(Virtual Reality, VR) 與穿戴式裝置遠程控制機器人。透過 5G-Advanced 網路具備的高頻寬(High Bandwidth)與超低延遲(Ultra-low Latency)特性，系統能穩定處理龐大的雙向數據流，確保視覺回饋與動作指令分毫不差，進而實現精準且即時的遠端沉浸式操控。

3.4 雲、網、端分散式架構

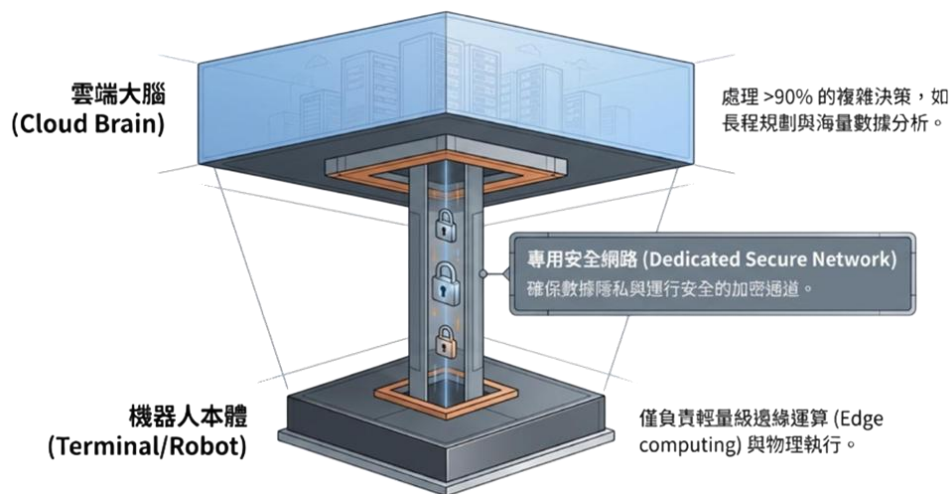


圖 25 分散式架構示意圖

圖中展示機器人的分散式運算架構，此架構將繁重的系統負載轉移至頂層的雲端大腦(Cloud Brain)，由其處理逾 90% 的複雜決策與海量數據分析；底層的機器人本體(Terminal/Robot)則得以專注於輕量級邊緣運算與物理動作執行。兩端透過具備加密通道的專用安全網路(Dedicated Secure Network)緊密串接，確保資料隱私與運行安全，完美實現雲端與終端的高效協作分工。

實現輕量化與低成本

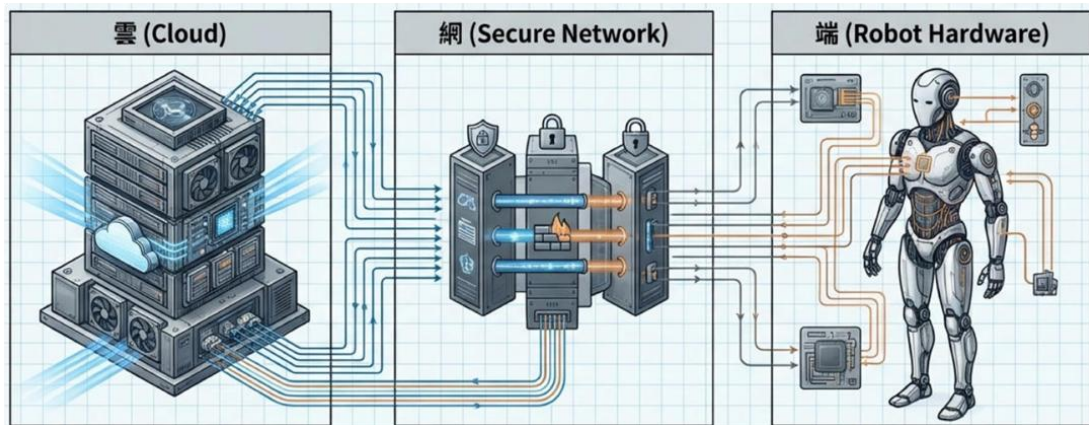


圖 26 雲端資源示意圖

圖中展示機器人「雲、網、端」三位一體的分散式運算架構，系統將沉重的運算任務轉移至強大的雲端(Cloud)伺服器，透過高安全性的加密網絡(Secure Network)進行即時數據交換，使底部的機器人硬體端(Robot Hardware)能以輕量化配置執行任務。這種分工不僅大幅降低了機器人本體的硬體成本與功耗，更透過雲端資源實現了複雜任務的高效處理。

指數增長的感測數據正推動高階半導體技術的極限

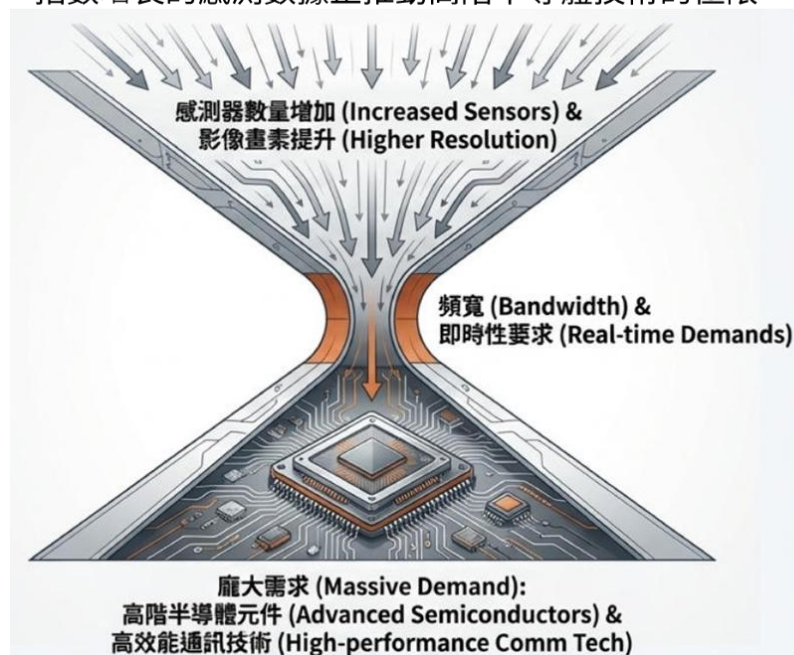


圖 27 未來通訊系統的頻寬與反應極限示意圖

圖中描繪機器人感測數據成長推動通訊與半導體技術的挑戰，隨著感測器數量與解析度提升，系統面臨極高的頻寬與即時性需求，這股數據壓力正推向高階半導體元件與通訊技術的極限。此沙漏模型直觀地呈現了從巨量環境感知到精準運算執行之間，硬體效能與傳輸效率必須不斷突破的關鍵地位。

第四章：多模態感知與環境互動

機器人若要真正在人類社會中提供服務，必須具備敏銳的環境感知能力。本章探討人型機器人的「多模態感知(Multimodal Perception)」技術，涵蓋內部本體感受與外部感知兩大面向。本體感受藉由慣性測量單元(IMU) 與關節編碼器，隨時掌握自身的姿態與受力狀況；外部感知則融合了視覺鏡頭、光學雷達(LiDAR) 與立體聲學感測，讓機器人能夠多維度地「看見」並「聽見」周遭環境，為後續的自主導航與環境互動提供關鍵數據來源。

4.1 內部本體感受

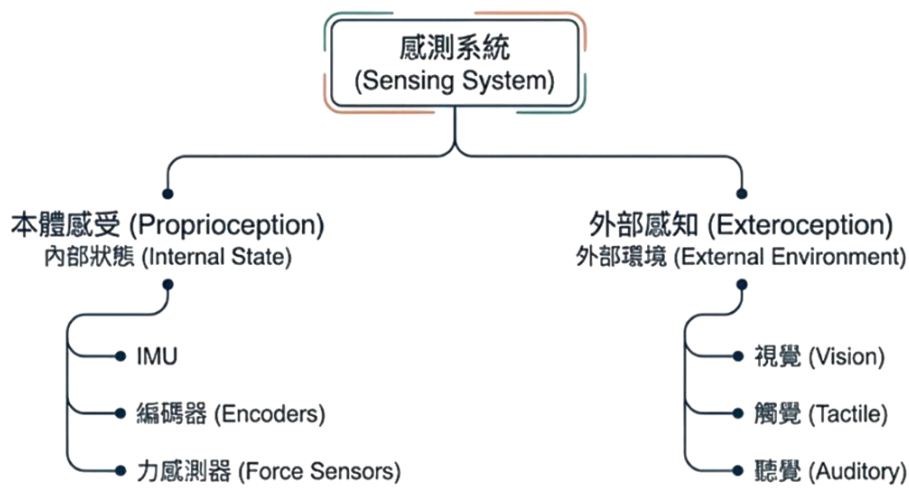


圖 28 感測器種類分類示意圖

圖中呈現機器人感測系統的兩大分類架構，感測系統分為負責監測內部姿態與受力的本體感受(Proprioception)，以及透過視、觸、聽覺探索周遭環境的外部感知(Exteroception)。這兩類感測器的協同運作，使機器人能同時掌握自身運動狀態並理解複雜的外界環境，是實現精準動作與自主決策的基礎。

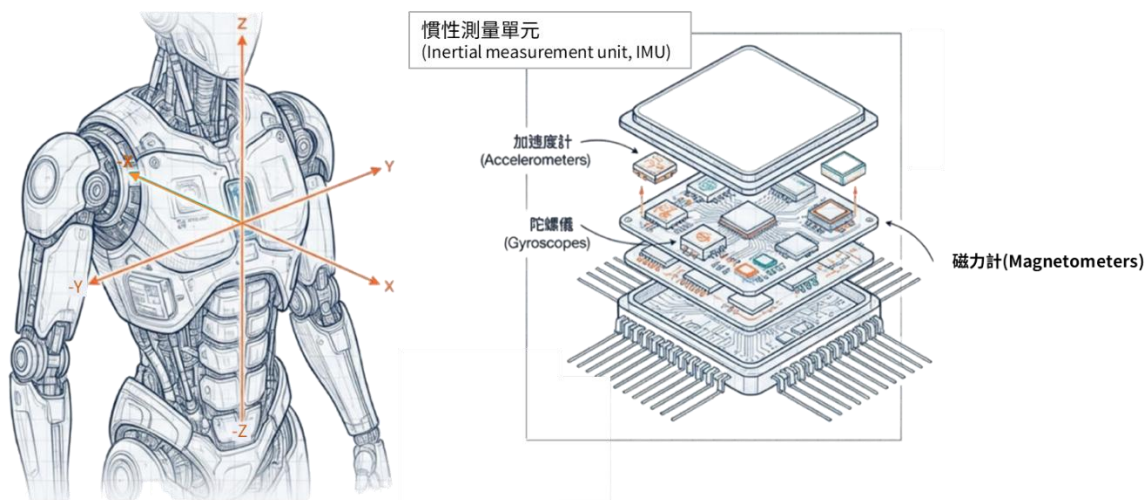


圖 29 本體感受之平衡與姿態示意圖

圖中展示機器人本體感受中負責平衡與姿態感知的核心機制，透過內建於軀幹的慣性測量單元 (Inertial Measurement Unit, IMU)，整合加速度計(Accelerometer)、陀螺儀(Gyroscope)與磁力計 (Magnetometer)的數據，機器人能精確掌握自身在三維空間中的即時位移與傾角變化。這套系統如同人類的內耳平衡器官，是機器人維持動態平衡、防止傾倒並實現精準肢體控制的生理基礎。

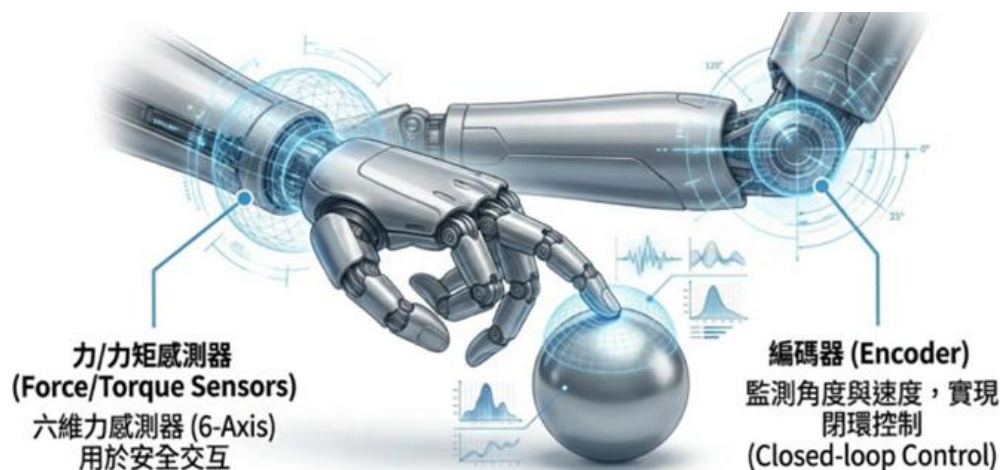


圖 30 本體感受之精確運動控制示意圖

圖中顯示示機器人本體感受中負責精密運動控制的感測架構，透過末端的六維(6-Axis)力/力矩感測器(Force/Torque Sensors)達成細膩的安全交互觸覺，並結合關節內的編碼器(Encoder)進行角度與速度的即時監測。此種感測配置構成完整的閉環控制 (Closed-loop Control) 系統，使機器人能精確掌握自身肢體位置並對外界物理接觸做出即時反饋，是實現精細作業與安全人機協作的關鍵技術。

4.2 外部感知技術



圖 31 外部感知之視覺系統(Vision Systems)示意圖

圖中顯示機器人視覺感測系統的多模組整合，藉由攝像頭(Cameras)進行物體辨識、光學雷達(Light Detection and Ranging, LiDAR)建構精準 3D 空間，以及毫米波雷達(Millimeter Wave Radar)提供全天候的速度測量與穩定感知。這類多感測器融合技術，讓機器人具備類似人類且更超越人類的空間洞察力，是實現自主避障與複雜任務處理的關鍵技術基礎。

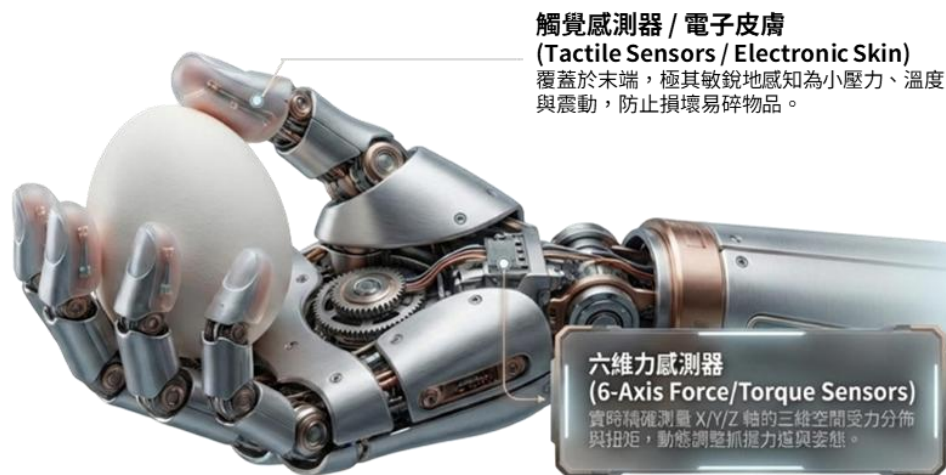


圖 32 外部感知之觸覺與電子皮膚(Tactile & Electronic Skin)示意圖

圖中展示機器人利用電子皮膚(Electronic Skin)與力感測技術實現精準觸覺感知，透過末端高度靈敏的觸覺感測器(Tactile Sensors)監測壓力與溫度，結合六維力感測器(6-Axis Force/Torque Sensors)精確計算抓握力矩，使機器人能如人類般細膩地處理易碎物件。此種多層次的觸覺回饋系統，是機器人從事複雜手工作業與達成安全人機協作的核心技術關鍵。



圖 33 外部感知之聽覺與環境生物監測(Auditory & Environmental Biometrics)示意圖

圖中說明機器人對聽覺、環境與生物訊號的綜合感知能力，透過麥克風陣列(Microphone Arrays)達成精準的語音交互，並整合環境溫濕度監測與先進的生物傳感技術(Bio-sensing Technology / Biosensor)(如肌電圖(Electromyography, EMG)/ 腦電圖(Electroencephalography, EEG))。這套多元感測系統賦予機器人理解人類情緒與生理狀態的能力，使其能從單純的執行工具進化為具備深度互動與關懷能力的智慧夥伴。

第五章：自主學習與認知決策

擁有感知數據後，機器人如何將其轉化為具體的行動策略？本章將深入具身智能的軟體核心，探討讓機器人具備「認知與決策」能力的自主演算法。從過濾環境雜訊的資料融合技術，到實現空間定位與地圖構建的 SLAM 演算法，皆是機器人自主移動的關鍵。此外，本章也將介紹強化學習(RL)、模仿學習(IL)以及前瞻的視覺-語言-動作(VLA)模型，解析機器人如何從反覆試錯與人類示範中持續進化，逐步邁向通用型的人工智慧。

5.1 資料融合與濾波技術

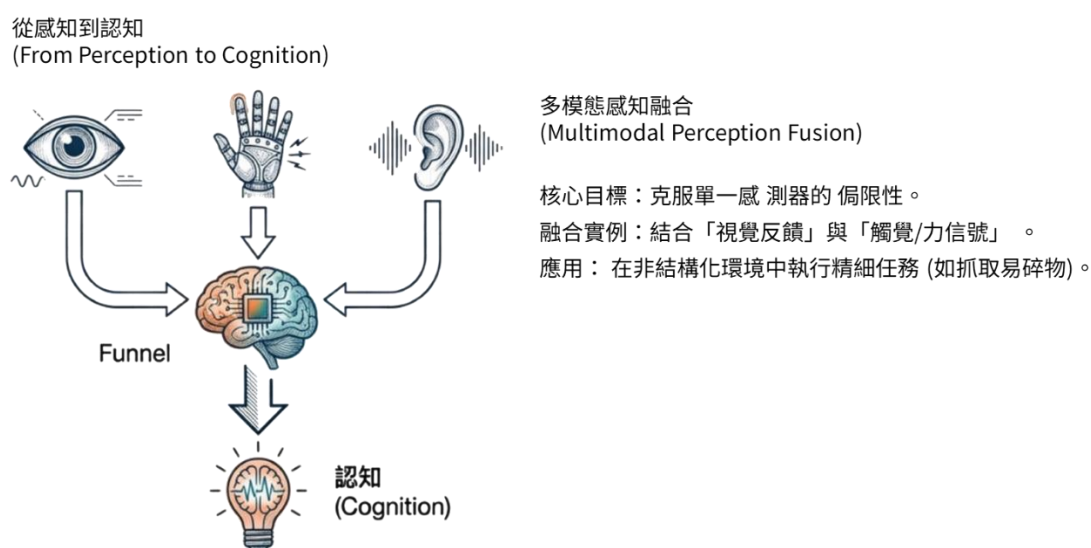


圖 34 資料融合(Data Fusion)示意圖

圖中描繪機器人透過資料融合技術實現從感知到認知的進階路徑，藉由整合視覺、觸覺與聽覺等多模態訊號，系統能有效克服單一感測器的盲點。這種多維度的數據匯流與處理，賦予機器人更深層的環境理解能力，使其能在複雜且未知的場景中，精準執行如抓取易碎物品等高度細緻的互動任務。

5.2 手腦協同與 VLA 模型

視覺-語言-動作模型
(Vision-Language Action Model, VLA Model)
理解自然語言指令並結合環境圖像，做出即時運動規劃。

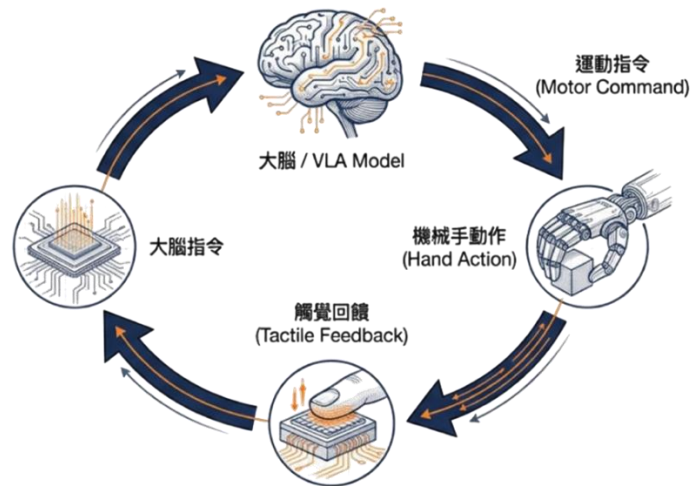
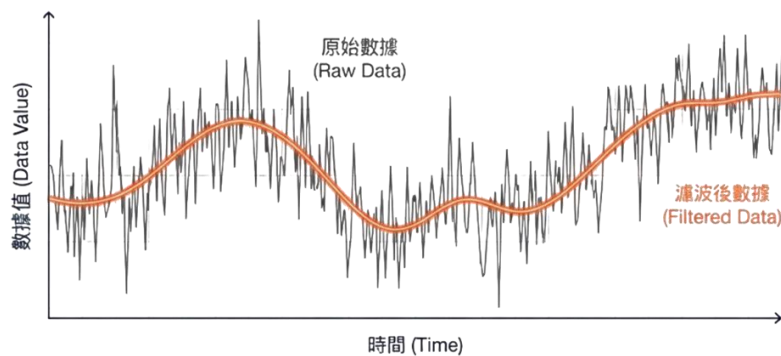


圖 35 手腦協同(Hand-Brain Coordination)與視覺-語言-動作(VLA)模型示意圖

圖中說明機器人透過視覺-語言-動作(Vision-Language-Action, VLA)模型實現的手腦協同(Hand-Brain Coordination)控制流程，系統將高階的大腦決策轉化為運動指令，驅動機械手執行動作，並同步透過觸覺回饋機制將物理資訊傳回大腦進行即時修正。這種指令→執行→感測→修正的封閉迴路，是仿人機器人能靈巧處理精細任務、達成高度手腦同步的核心技術架構。



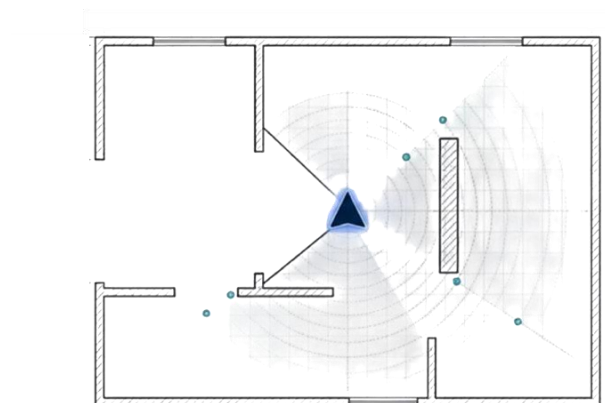
卡爾曼濾波：處理 IMU 與編碼器數據，進行最優姿態估計。
粒子濾波：與觸覺掃描結合，在無視覺環境下實現目標識別與定位。

圖 35 融合演算法(Fusion Algorithms)之濾波技術示意圖

圖中展示機器人融合演算法中的濾波數據處理技術，透過卡爾曼濾波(Kalman Filter)與粒子濾波(Particle Filter)等核心演算法，系統能將充滿雜訊的原始數據(Raw Data)(黑線)轉化為穩定可靠的濾波後資訊(Filtered Data)(橘線)。此技術確保機器人在面臨複雜環境干擾時，仍能維持對自身姿態與環境位置

的精確估計，是達成穩健運動控制與精確感知的重要基石。

5.3 空間定位與地圖構建(SLAM)

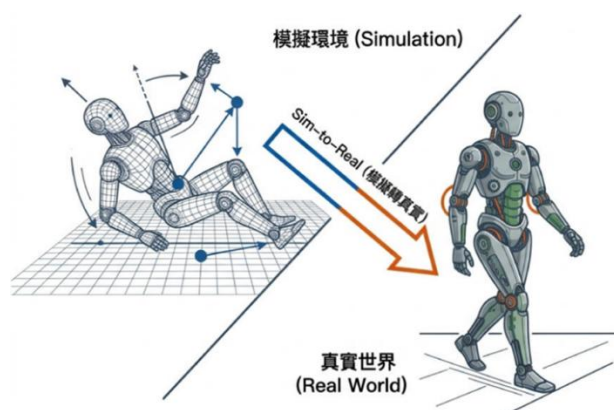


整合視覺 (Vision) 與光學雷達 (LiDAR) 數據。
建立環境地圖並同時確定機器人自身位置。

圖 37 融合演算法(Fusion Algorithms)之同步定位與地圖構建 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)示意圖

圖中展示機器人利用 同步定位與地圖構建(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)技術進行環境探索與定位，藉由融合視覺與光學雷達的高精度數據，機器人能於陌生場景中同步構建 2D 或 3D 空間地圖，並在此座標系中實現精確的自我定位。這項技術是機器人達成自主移動、路徑規劃以及智慧避障的基礎，使其能在不依賴外部導航系統的情況下，於複雜室內環境中穿梭自如。

5.4 機器人自主學習



強化學習(Reinforcement Learning, RL)
通過試錯 (Trial and Error) 學習最優策略

圖 38 自主學習之強化學習(Reinforcement Learning)示意圖

圖中描繪機器人透過強化學習從模擬環境走向真實世界的發展流程，機器人先在數位模擬系統中透過無數次試錯學習最優動作策略，再經由模擬轉真實(Sim-to-Real)技術將訓練成果遷移至實體硬體。這

種訓練模式不僅能大幅降低研發成本與硬體損耗風險，更是讓仿人機器人具備高度自主學習能力與複雜動作協調性的關鍵途徑。

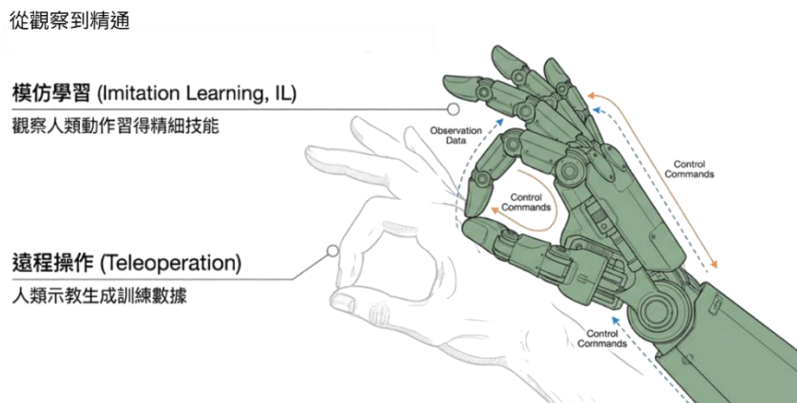


圖 39 自主學習之模仿學習(Imitation Learning, IL)示意圖

圖中展現機器人透過模仿學習實現從觀察到精通的技能習得路徑，系統藉由人類遠程操作 (Teleoperation)所生成的示範數據，讓機器人能直接捕捉並學習人類的高階運動技巧與控制指令。這種以人類行為為導引的訓練方式，是仿人機器人掌握如靈巧手抓握、細緻裝配等複雜且非結構化任務的最高效手段。

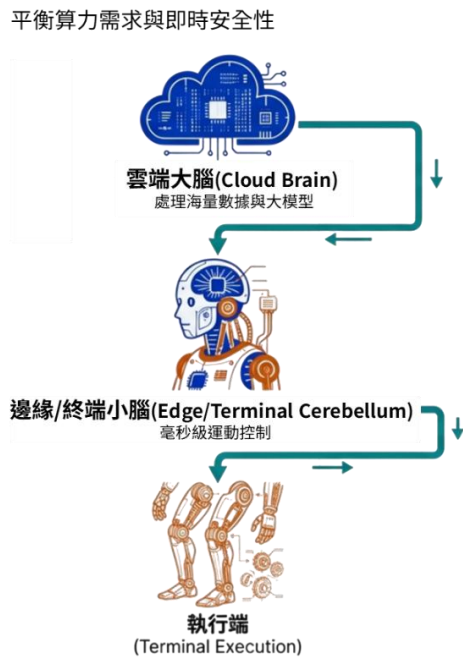


圖 40 雲、邊、端架構(Cloud-Edge-Terminal Architecture)示意圖

圖中呈現機器人「雲一邊一端」協同運算的層次化模型，透過將複雜的認知思考交給雲端大腦 (Cloud Brain)，將極速的動作反應交給終端小腦(Terminal Cerebellum)，這種分工架構不僅讓機器人變得更聰明，更確保了在執行任務時的穩定性與即時安全性。這是仿人機器人邁向低功耗、高效率且具備即時反應能力的關鍵軟硬體配置方案。

第六章：末端執行器：靈巧手技術

雙手是人類改變世界最重要的工具，對於人型機器人而言亦然。本章專注於探討機器人執行任務的最前線——「靈巧手(Dexterous Hand)」。為在極度有限的體積內達成與人手相仿的多自由度活動，靈巧手高度依賴微型化且高扭矩的空心杯馬達，並結合了創新的仿生肌腱傳動系統與輕量化材料。透過這些極致精密的機電設計，機器人方能執行如拿取水杯、操作工具等精細的手腦協同動作，是擴展機器人應用場域的關鍵技術。

6.1 靈巧手核心系統與仿生結構

模擬人類形態與精細操作

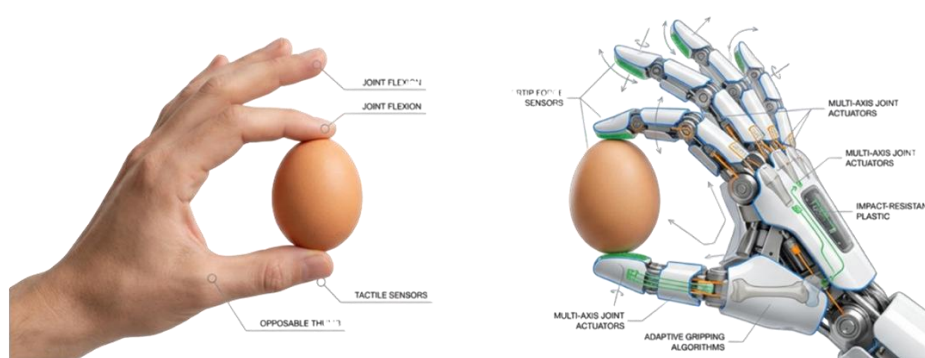


圖 41 靈巧手(Dexterous Hand)示意圖

圖中展示靈巧手(Dexterous Hand)如何結合仿生結構與感測技術達成精細操作。透過模仿人類手部的多關節致動器(Multi-axis Joint Actuators)與高靈敏度指尖感測器(Fingertip Force Sensors)，結合先進的自適應演算法(Adaptive Gripping Algorithms)，機器人能精準控制抓取力道，在不損壞易碎物品的前提下完成精細的手工作業。這是仿人機器人從簡單搬運進化到能使用人類工具、執行複雜勞動任務的關鍵標誌。

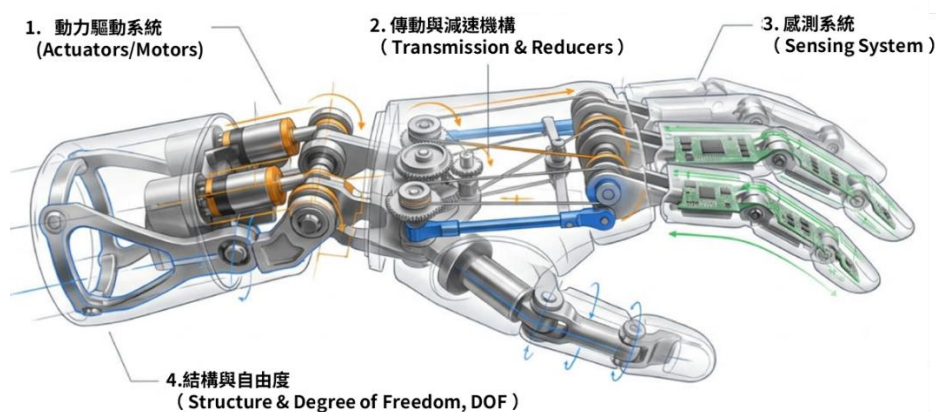


圖 42 靈巧手四大核心系統示意圖

圖中說明靈巧手的四大核心系統與其精密分工，從後端的動力驅動(Actuators/Motors)提供能量，經過傳動機構(Transmission Mechanism)的精確轉換，結合前端感測系統(Sensing System)的即時資訊回饋，最終由具備多自由度(Degree of Freedom, DOF)的機械骨骼(Skeleton)執行任務。這四大系統的有機結合，使機械手不再只是冰冷的工具，而是能像人類手部一樣進行細膩操作的智慧終端。

空間與響應的平衡

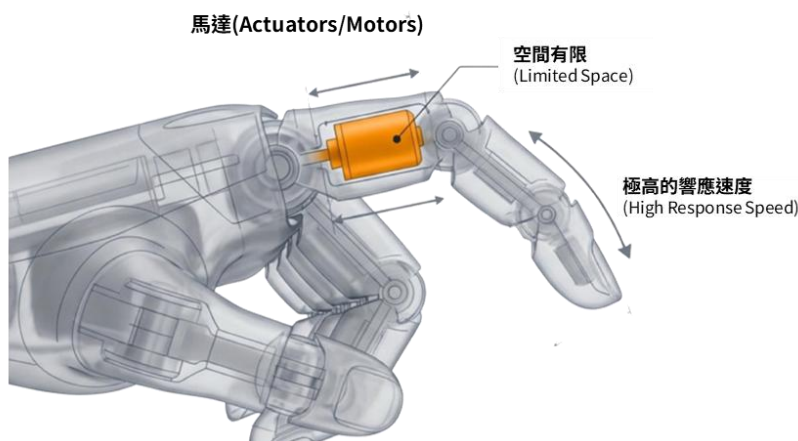


圖 43 靈巧手動力驅動系統示意圖

圖中揭示了靈巧手動力驅動系統，研發者必須在極細微的指節空間中，整合高功率密度的微型馬達與精密的感測電路。這種對空間利用率的追求，不僅是為了視覺上的仿生，更是為了確保機器人在抓取動態物體或執行精細裝配時，能擁有媲美人類手的即時反應速度與操作穩定性。

6.2 動力驅動與微型馬達

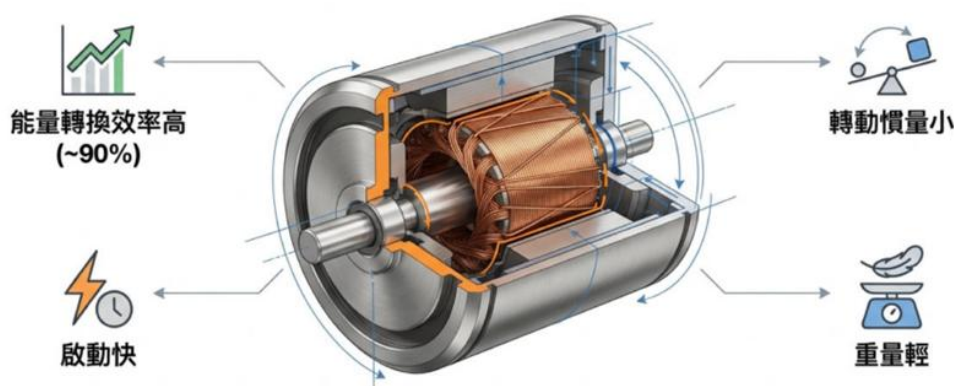


圖 44 空心杯馬達(Coreless Motor)示意圖

圖中展示靈巧手核心驅動組件—空心杯馬達(Coreless Motor)的結構與特性，該馬達憑藉無鐵芯設計達成 90% 的超高轉換效率，並以低慣量、高響應與輕量化優勢，成為機器人執行精確、高速運動控制

的物理基礎。它是靈巧手能在極限空間內爆發強大性能，並達成細膩觸覺反饋的動力核心。

6.3 輕量化傳動設計與仿生肌腱

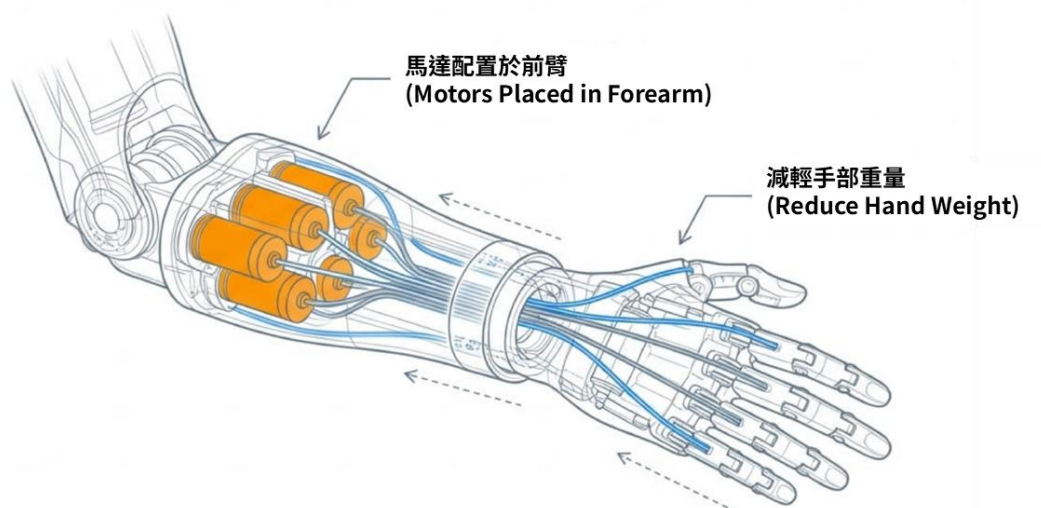


圖 45 靈巧手馬達配置示意圖

圖中描繪仿人機器人透過前臂集成馬達來達成手部輕量化的設計方案，藉由將動力源後移至前臂，系統能顯著減輕末端執行器的重量，進而提升手指的響應靈敏度與整體運動效率。這種模擬生物肢體肌肉分布的配置方式，是機械靈巧手在有限空間內實現高動態、低慣性操作的關鍵工程手段。

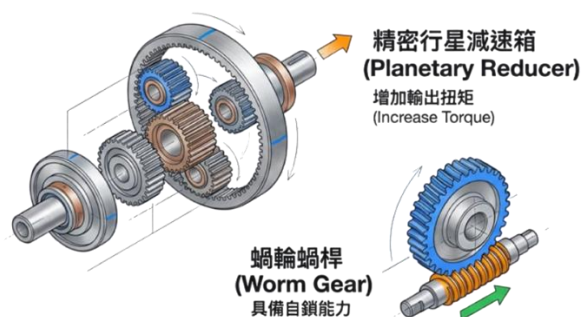


圖 46 靈巧手傳動機構(Transmission)示意圖

圖中展示靈巧手傳動機構中行星減速箱與蝸輪蝸桿的協作架構，系統藉由行星減速箱(Planetary Reducer)大幅提升微型馬達的輸出扭矩，滿足強大的抓取力需求；同時結合蝸輪蝸桿(Worm Gear)的自鎖(Self-locking)特性，確保機器人在斷電或靜止抓握時仍能維持姿態穩定。這兩種精密機械構造的集成，讓仿人機器人手部能兼具強勁力量與高效率的姿勢保持能力。

第七章：進階感知：電子皮膚技術

如果說視覺是機器人探索遠方的眼睛，觸覺則是它們與物理世界安全互動的第一道防線。本章將帶領讀者深入認識賦予機器人細膩觸感的「電子皮膚(Electronic Skin, E-skin)」技術。有別於傳統硬質的感測器，電子皮膚採用柔性高分子基材，打造出具備高度延展性的三層仿生結構。透過壓阻、電容等物理傳感機制，電子皮膚不僅能精準感知壓力大小，更能偵測材質紋理與溫度變化，為人機協作帶來前所未有的安全性與細膩度。

7.1 電子皮膚三層仿生結構

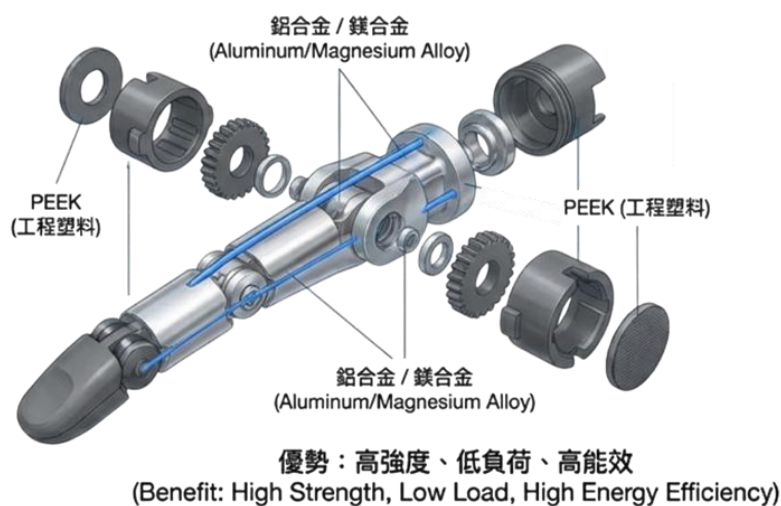


圖 45 靈巧手輕量化材料示意圖

圖中展現靈巧手透過高階材料實現「高強度、低負荷、高效能」的設計目標，結構上融合了輕盈穩固的鎂鋁合金骨架，並於關鍵磨耗點採用先進 PEEK 工程塑料。這種跨領域的材料組合不僅減輕了手部整體的動態負載，更顯著提升了關節的運作效率與耐用度，是達成仿人手部高速敏捷響應的硬體基礎。

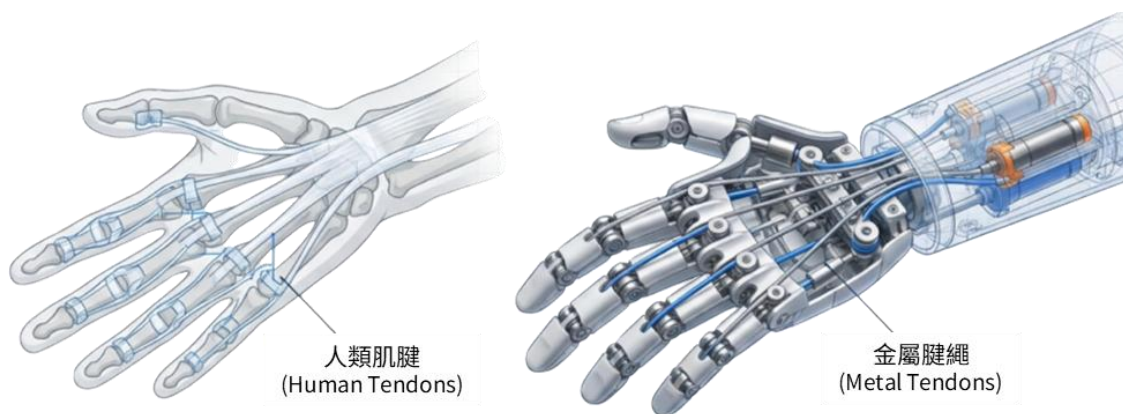


圖 46 靈巧手仿生肌腱傳動示意圖

圖中展示靈巧手如何利用金屬腱繩(Metal Tendons)模擬人類肌腱(Human Tendons)的力傳遞系統，透過這種仿生傳動設計，機器人能將前臂馬達的動力精準輸送至各個指節，不僅完美復刻了人手的靈活度，更解決了指尖空間受限與重量過載的工程難題。這是達成機器人與人類手腦協同以及細膩操作物體的核心機械基礎。

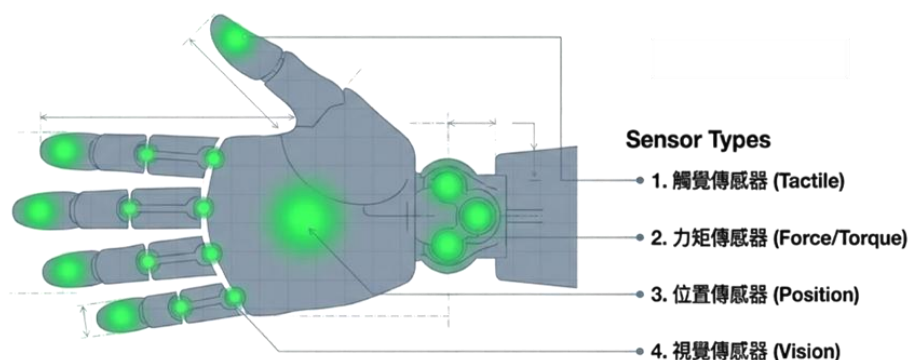


圖 47 靈巧手感測系統示意圖

圖中展現靈巧手多源感知融合的感測架構，透過觸覺(Tactile)、力矩(Force/Torque)、位置(Position)與視覺(Vision)四位一體的感測系統，機器人能構建出完整的空間與物理認知。這種多感官回饋機制是機器人實現手腦協同的關鍵，讓它不僅能看見物體，更能感覺並靈巧地操控複雜環境中的各種目標。

- 一種模仿人類皮膚結構與感知功能的柔性電子系統 (Flexible Electronic System)。
- 它是具身智能 (Embodied AI) 與物理世界進行精細交互的核心組件。

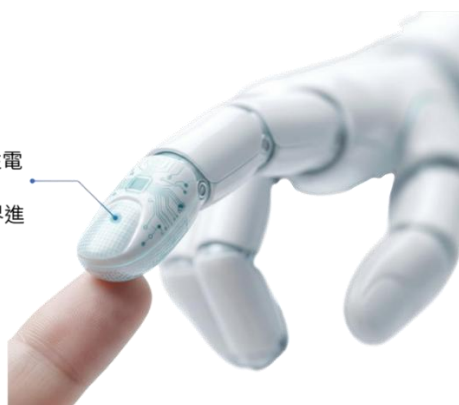


圖 45 電子皮膚(Electronic Skin, E-skin)示意圖

圖中展示靈巧手頂尖感知技術—電子皮膚(Electronic Skin, E-skin)的結構與應用，該技術透過柔性電子系統(Flexible Electronic System)賦予機器人細膩的觸覺回饋，使其能精確執行精細交互任務。電子皮膚作為具身智能(Embodied AI)與物理世界溝通的橋樑，是機器人從機械化運作進化到具備類人感知與環境自適應能力的關鍵里程碑。

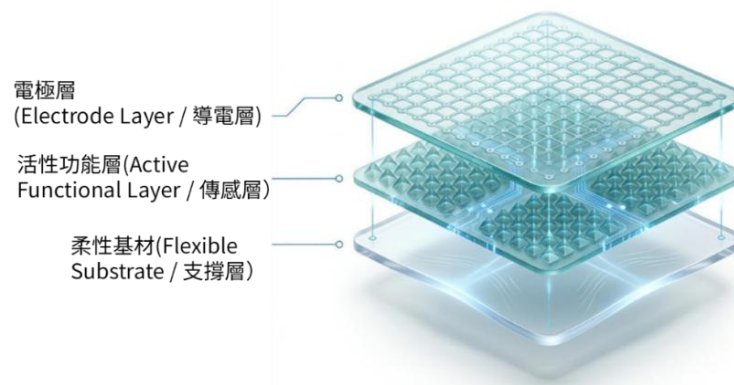


圖 46 電子皮膚仿生結構示意圖

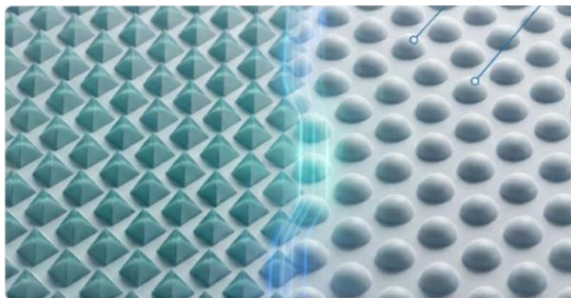
圖中呈現電子皮膚的三層仿生結構設計，透過柔性基材(Flexible Substrate /支撐層)的延展性、活性功能層(Active Functional Layer / 傳感層)的靈敏傳感，以及電極層(Electrode Layer / 導電層)的高效傳輸，電子皮膚能實時將物理接觸轉化為數位資訊。這種精密的多層整合技術，是機器人達成精細抓握、感知物體質地，並確保與人類安全互動的感知基礎。



圖 47 電子皮膚柔性基材(Flexible Substrate)示意圖

圖中描繪電子皮膚實現高難度曲面貼合的柔性材料基礎，透過整合聚醯亞胺(Polyimide, PI)、聚二甲基矽氧烷(PDMS)、水凝膠(Hydrogel)、聚氨基酯 (Polyurethane, PU)等具備高拉伸性的聚合物基材，電子皮膚得以克服金屬或硬質矽片的脆弱性，在機器人關節活動時仍能保持電路的完整性與感測精確度。這種材料技術是讓仿人機器人獲得全方位、無死角觸覺感知的關鍵物理前提。

將物理刺激轉化為電訊號



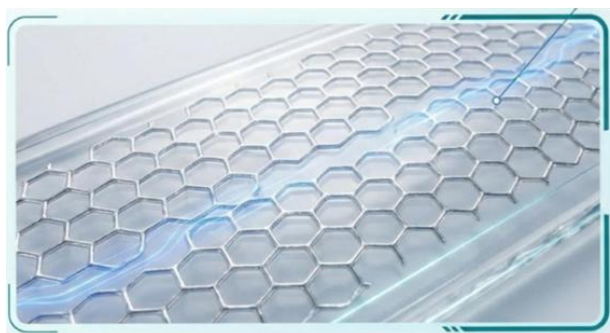
微結構設計(Micro-structure Design)
以提升靈敏度：

- * 倒錐形(Micro-pyramids)
- * 半橢球(Hemispherical)

圖 48 電子皮膚活性功能層(Active Functional Layer)示意圖

圖中揭示電子皮膚活性功能層將物理刺激轉化為電訊號的微觀機制，透過導入倒錐形(Micro-pyramids)與半橢球(Hemispherical)等精密微結構設計微結構設計(Micro-structure Design)，電子皮膚能大幅強化對外界壓力的感知靈敏度。這種設計模擬了人類指尖複雜的觸覺受體，是仿人機器人達成溫柔抓取、辨識物體軟硬度與精細質地感知的技術基礎。

負責傳輸電訊號，需具備高導電性與耐頻繁變形的耐用性。



- * 銀奈米線(Silver Nanowires, AgNWs)
- * 石墨烯(Graphene)
- * 碳奈米管(Carbon Nanotubes, CNTs)

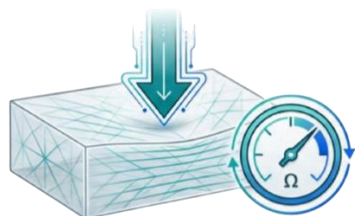
圖 49 電子皮膚電極層(Electrode Layer)示意圖

圖中詳述電子皮膚電極層(Electrode Layer)的高效導電網路與先進材料組份，透過導入銀奈米線(Silver Nanowires, AgNWs)、石墨烯(Graphene)與碳奈米管(Carbon Nanotubes, CNTs)等前沿奈米材料，電極層得以在極端拉伸與彎曲的情況下，精確且不間斷地傳輸電訊號。這種兼具高耐用性與靈敏傳導的設計，是機器人達成全天候、高強度精細交互操作的關鍵硬體支撐。

7.2 物理傳感原理與多模態感知能力

壓阻式(Piezoresistive)

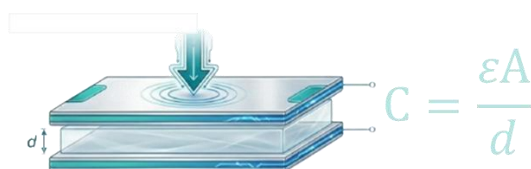
利用材料受壓後電阻值變化的特性



結構簡單、技術成熟。
目前主流應用方案

壓容 / 電容式 (Capacitive)

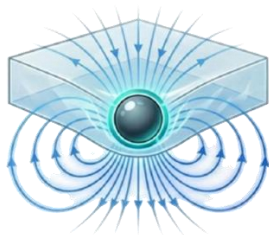
壓力改變電極間距，進而改變電容值。



優點：高靈敏度、低功耗
缺點：易受電磁干擾(EMI)

磁性觸覺(Magnetic Tactile)

利用磁場變化感測形變



光學觸覺 / 視觸覺 (Optical / Vision-based Tactile)

微型相機捕捉柔性膠體型變，提供
微米高解析度。



圖 50 電子皮膚傳感原理示意圖

圖中詳解電子皮膚達成類人觸覺的四種核心物理傳感原理，從技術成熟的壓阻式(Piezoresistive)到高精度的光學視觸覺(Optical / Vision-based Tactile)，這些傳感機制賦予了機器人感知壓力、形變與紋理的能力。透過多元物理量的採集，電子皮膚能精確反饋環境資訊，是仿人機器人實現具身智能、達成複雜靈巧操作的感知基礎。

超越單一壓力感測，整合多維度資訊：

- * 材質紋理 (Texture)
- * 溫度 (Temperature)
- * 壓力與摩擦力 (Pressure & Friction)



圖 51 電子皮膚多模態感知能力(Multimodal Perception)示意圖

圖中描繪電子皮膚多模態感知架構，透過整合材質(Texture)、溫度(Temperature)、壓力與摩擦力(Pressure & Friction)等多維度資訊，多模態傳感器(Multimodal Sensor)賦予機器人極其細膩的物性辨識能力。這種深度的感知融合是實現機器人「觸覺智慧」的核心，使其能在複雜多變的日常場景中，精確且安全地執行如捏取易碎品或操作精細工具等高難度動作。

附錄：電動車產業中英文專業用語彙整表 (Glossary)

產業用語	英文	中文	說明
5G-A	5G-Advanced	增強型 5G	提供更高頻寬與更低延遲，支撐大規模機器人聯網。
Adaptive Gripping	Adaptive Gripping	自適應抓取	根據物體形狀與硬度自動調整抓取策略的演算法。
Admittance Control	Admittance Control	導納控制	根據量測到的外力來決定機器人應有的位移反應。
AgNWs	Silver Nanowires	奈米銀線	微細的導電材料，使電子皮膚能大面積導電。
Aluminum Alloy	Aluminum Alloy	鋁合金	常用的輕量化金屬結構材料。
API	API	應用程式介面	軟體系統間進行通訊與功能呼叫的標準規範。
Axial Flux Motor	Axial Flux Motor	軸向磁通馬達	扁平化設計提供極高扭矩密度，能節省關節空間。
Back-drivability	Back-drivability	反向驅動性	描述關節在斷電或受外力時是否能被輕鬆轉動，是人機安全的重要指標。
Balance Control	Balance Control	平衡控制	透過演算法補償擾動，防止機器人傾倒。
Ball Screw	Ball Screw	滾珠導螺桿	將旋轉運動轉為直線運動的主流技術，摩擦力較小。
Bearing	Bearing	軸承	支撐旋轉零件並減少運動摩擦的組件。
Carbon Fiber	Carbon Fiber	碳纖維	極高強度且輕量的材料，用於打造機器人肢體外殼。
CG	Center of Gravity	重心	機體的物理中心點，維持重心平衡對雙足行走至關重要。
Closed-loop Control	Closed-loop Control	閉環控制	利用回饋訊號與目標值進行比對，自動修正誤差的技術。
CNTs	Carbon Nanotubes	碳奈米管	高性能的奈米材料，用於強化傳感電極層。
CoM	Center of Mass	質心	描述物體質量分佈的中心點，平衡控制的核心參考點。
Coreless Motor	Coreless Motor	空心杯馬達	無鐵芯設計，具備低慣量、

			高響應與高效率，常用於靈巧手。
CPG	Central Pattern Generator	中樞模式發生器	自動產生如步行等週期性規律運動的演算法。
CPU	Central Processing Unit	中央處理單元	負責處理機器人大腦中的邏輯運算。
Cross Roller Bearing	Cross Roller Bearing	交叉滾子軸承	具備高剛度，能承受徑向與軸向載荷，常用於機器人腰部或肩部。
Cycloidal Pinwheel Reducer	Cycloidal Pinwheel Reducer	擺線針輪減速器	結構緊湊、抗衝擊能力強，常用於機器人大關節。
Data Fusion	Data Fusion	資料融合	整合多個感測器資訊以獲得更精確環境認知的技術。
Digital Twin	Digital Twin	數位孿生	在虛擬世界中建立與真實機器人完全一致的動態模型。
DoF	Degrees of Freedom	自由度	描述機器人關節可移動方向的數量，決定動作的靈活性。
E-skin	Electronic Skin	電子皮膚	柔性電子系統，賦予機器人細膩的觸覺回饋。
E-Stop	Emergency Stop	緊急停止	安全第一優先權的硬體或軟體斷電保護機制。
Filtered Data	Filtered Data	濾波後資料	經過演算法處理，去除雜訊後的穩定數據。
Fine-tuning	Fine-tuning	微調	使用特定數據對預訓練模型進行調整，以適應特定任務。
Flexible Transmission	Flexible Transmission	柔性傳動	具備一定彈性的動力傳遞方式，有助於吸收行走時的衝擊。
FMEA	Failure Mode & Effects Analysis	失效模式與效應分析	預測產品可能故障點並評估其影響的系統化方法。
Forward Dynamics	Forward Dynamics	正動力學	已知關節力矩，計算機器人會產生的加速度與位移。
Foundation Model	Foundation Model	基礎模型	具備強大通用能力的大規模預訓練模型。
FSM	Finite State Machine	有限狀態機	用於描述機器人在不同動作狀態(如站立、行走、摔倒)切換的邏輯模型。
FTM	Frameless Torque Motor	無框力矩馬達	無外殼設計，便於直接整合

			進關節結構，具備高功率密度。
Gait Planning	Gait Planning	步態規劃	根據地形設計機器人行走時的步長、高度與節奏。
GPU	Graphics Processing Unit	繪圖處理單元	專門處理視覺資訊的處理單元。
Graphene	Graphene	石墨烯	具備極佳導電性與強度的二維材料。
GRF	Ground Reaction Force	地面反作用力	腳掌與地面接觸產生的力，是支撐與移動的動力源。
Hand-Brain Coordination	Hand-Brain Coordination	手腦協同	決策層與執行層間的高度同步，實現精細操作任務。
Harmonic Reducer	Harmonic Reducer	諧波減速器	具備輕便、高精度的特性，多用於肢體末端。
Hot-swappable Battery	Hot-swappable Battery	熱插拔電池	不關機即可更換電池，支援 24 小時不間斷運作。
Hydrogel	Hydrogel	水凝膠	具備高含水量的柔軟材料，用於模擬生物組織感測。
LiDAR	Light Detection and Ranging	光學雷達	一種感測技術，可發射低功率、人眼安全的激光進行脈衝測量，並測量激光完成感測器與目標之間往返所需的時間。
IL	Imitation Learning	模仿學習	透過捕捉人類的操作數據，讓機器人直接學習人類的運動技巧。
Impedance Control	Impedance Control	阻抗控制	控制機器人與環境互動時的「剛性」與「阻尼」表現。
IMU	Inertial Measurement Unit	慣性測量單元	整合加速度計與陀螺儀等，感測機體在空間中的位移與傾角。
Inference	Inference	推理	使用訓練好的 AI 模型來執行任務或生成決策的過程。
Integrated Joint	Integrated Joint	一體化關節	將馬達、減速器、編碼器與驅動電路整合為單一模組的設計。
Inverse Dynamics	Inverse Dynamics	逆動力學	已知目標動作，計算各關節所需輸出的力矩。

Jacobian Matrix	Jacobian Matrix	雅可比矩陣	連結關節旋轉速度與末端移動速度的關鍵數學工具。
Jitter	Jitter	抖動	指延遲時間的不穩定波動，會影響機器人控制品質。
Kalman Filter	Kalman Filter	卡爾曼濾波	從含有雜訊的觀測中，估算系統真實狀態的優化演算法。
Latency	Latency	延遲	訊號從發出到接收或執行之間的時間差。
Lead Screw	Lead Screw	導螺桿	將旋轉運動轉換為直線運動的關鍵組件。
LLM	Large Language Model	大型語言模型	提供機器人理解力與推理力，使其能自主進行行動規劃。
Magnesium Alloy	Magnesium Alloy	鎂合金	比鋁更輕的結構金屬，用於進一步減輕自重。
Metal Tendons	Metal Tendons	金屬腱繩	靈巧手中用於拉動指節的高強度金屬線纜。
Micro-structure Design	Micro-structure Design	微結構設計	在感測層設計倒錐形等結構，提升觸覺靈敏度。
MPC	Model Predictive Control	模型預測控制	預測未來軌跡並優化動態，維持機器人平衡的核心演算法。
MTBF	Mean Time Between Failures	平均故障間隔時間	衡量機器人可靠性的核心指標。
Multi-axis Joint Actuator	Multi-axis Joint Actuator	多軸關節致動器	同時控制多個運動方向的複雜動力元件。
Multi-modal Perception	Multi-modal Perception	多模態感知	同時接收並融合視、聽、觸等多種資訊的認知方式。
NPU	Neural Processing Unit	神經處理單元	負責 AI 推理運算的核心硬體。
OTA	Over-the-Air	空中下載	透過無線網路進行軟體更新的技術。
Particle Filter	Particle Filter	粒子濾波	使用多個隨機取樣點來處理非線性系統的估算演算法。
Payload	Payload	有效負載	機器人在維持性能的情況下所能搬運的最大重量。
PDMS	Polydimethylsiloxane	聚二甲基矽氧烷	一種柔性矽膠，為仿生觸覺

			的核心材料。
PEEK	Polyetheretherketone	聚醚醚酮	一種高性能工程塑料，用於減輕機器人自重並維持高強度。
PI	Polyimide	聚醯亞胺	具備高耐熱性的聚合物，常用作電子皮膚基材。
Planetary Reducer	Planetary Reducer	行星減速器	結構緊湊、傳動平穩，常用於提升微型馬達的輸出扭矩。 ⁺²
Power Distribution	Power Distribution	電源分佈	將電力從電池高效分配至全身執行器的架構。
PU	Polyurethane	聚氨酯	具備高拉伸性的聚合物，常用於柔性電子封裝。
QDD	Quasi-Direct Drive	準直接驅動	採用高扭矩馬達搭配低減速比，具備極佳的反向驅動性與透明度。
Raw Data	Raw Data	原始數據	感測器直接產出、未經過濾或處理的初始資訊。
Reachable Workspace	Reachable Workspace	可達工作空間	機器人末端執行器在空間中能觸及的所有點之集合。
Real-time Execution	Real-time Execution	即時動作執行	系統能以極短延遲(毫秒級)完成指令下達與動作響應。
RFM	Radial Flux Motor	徑向磁通馬達	傳統設計的馬達，磁場沿半徑方向分佈。
RL	Reinforcement Learning	強化學習	讓機器人在模擬環境中透過試錯學習最優動作策略的技術。
RLHF	Reinforcement Learning from Human Feedback	基於人類回饋的強化學習	透過人類的評價來優化 AI 的行為表現。
Roller Screw	Roller Screw	滾柱導螺桿	頂級機器人首選，負載能力強，用於精密的線性致動。
RV Reducer	Rotary Vector Reducer	RV 減速器	具備高承载力，通常應用於機器人的大關節。
SDK	Software Development Kit	軟體開發套件	提供給開發者使用的工具集，用來開發機器人應用程式。
SEA	Series Elastic Actuator	串聯彈性致動器	在馬達與負載間加入彈性元件，能吸收衝擊並實現力控

			安全。
Self-locking	Self-locking	自鎖	機械構造在特定情況下無法反向驅動的特性。
SIL	Safety Integrity Level	安全完整性等級	工業安全功能可靠度的分級標準。
Sim-to-Real	Sim-to-Real	模擬至實體	透過電腦模擬技術建立一個高度逼真且多元化的虛擬環境，提供機器學習或強化學習所需的 AI 智慧系統。
Singular Configuration	Singular Configuration	奇異位姿	機器人失去某個方向運動能力的特殊狀態，需演算法避開。
Skeleton	Skeleton	機械骨骼	支撐機器人全身重量與提供運動支點的結構框架。
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	同步定位與地圖構建	讓機器人在陌生場景中同步構建地圖並實現自我定位的技術。
SoC	System-on-Chip	系統單晶片	整合 CPU、GPU、NPU 等多種處理器的單一晶片，賦予機器人大腦運算能力。 +1
TCO	Total Cost of Ownership	總體擁有成本	包含採購、維運與電力消耗在內的完整成本評估。
Tendon-based System	Tendon-based System	肌腱傳動系統	模擬人類肌腱，透過線纜傳遞動力以減輕末端重量。
Thermal Management	Thermal Management	熱管理	透過風冷、液冷或鰭片散熱，防止機件過熱損壞。
Tokenization	Tokenization	標記化	將文本或影像分解成 AI 可理解的最小單位(Token)。
Trajectory Optimization	Trajectory Optimization	軌跡優化	在滿足物理約束下，尋找能耗最低或速度最快的動作路徑。
Transformer	Transformer	變換器架構	目前 LLM 的主流架構，擅長處理長序列數據。
Transmission Mechanism	Transmission Mechanism	傳動機構	負責將馬達動能引導至目標位置的機械路徑。
Trapezoidal Lead Screw	Trapezoidal Lead Screw	梯形螺紋導螺桿	結構簡單、具備高摩擦力與基礎傳動能力的導螺桿。

UDP	User Datagram Protocol	使用者資料包協定	一種網路傳輸協定，具備低延遲特性，適用於即時動作捕捉與控制。
VLA	Vision-Language-Action	視覺-語言-動作模型	直接將視覺與語言指令轉換為機器人控制指令的模型。
VLM	Vision-Language Model	視覺語言模型	結合視覺與語言資訊，讓機器人能理解看見與聽見的複雜狀況。+1
WBC	Whole-body Dynamics Control	全身動力學控制	協調整體重心、動量與足底力，確保全身動作和諧。
Worm Gear	Worm Gear	蝸輪蝸桿	具備自鎖特性，確保斷電時手部能維持姿勢不掉落物品。
ZMP	Zero Moment Point	零矩點	確保機器人步伐重心落在腳掌支撐範圍內，避免傾倒的理論。+1