



逢甲大學學生報告 ePaper

# 智慧型跟隨式醫療機器人 Smart Medical Follower Robot

作者：潘奕嘉、王羿竣

系級：自控二乙

學號：D1253086、D1256595

開課老師：黃清輝 教授

課程名稱：機器人學

開課系所：自動控制工程學系

開課學年：114 學年度 第 1 學期



## 中文摘要

在現今醫療環境中，隨著高齡化社會來臨，護理人員短缺與工作負荷過重已成為全球性的醫療危機。護理師在日常工作中，需頻繁推動裝載藥品、醫療器材或病歷的護理推車穿梭於病房與護理站之間，這不僅消耗大量體力，更佔用雙手，降低了照護效率。為解決此問題，本計畫將開發一台「智慧型跟隨式醫療機器人」。

本系統將傳統被動式的護理推車與自主移動機器人 (AMR) 技術結合，如圖一所示。計畫採用分層控制設計：底盤採用兩輪差速驅動搭配萬向輪的設計，具備原地轉向與靈活移動的特性，以適應狹窄的醫院走廊，裝備 NVIDIA Jetson Orin AGX 作為核心運算單元，搭載 ROS 2 (Robot Operating System 2) 機器人作業系統，整合 LiDAR 光達與深度相機進行感測器融合 (Sensor Fusion)，實現複雜醫院環境下的 SLAM 建圖、路徑規劃、動態避障及精準人員跟隨功能。上層架構方面，本計畫創新導入大型語言模型 (LLM) 作為上位機的核心大腦，取代傳統僵化的指令識別。透過搭載於車身的麥克風陣列與視覺感測器，醫療車不僅能透過電腦視覺技術 (Computer Vision) 鎖定並自動跟隨特定護理人員，更能理解護理師的自然語言指令 (如：「請跟著我到 305 病房」、「請停在這裡等我」)，並執行對應的導航或待命動作。

針對醫療推車高負載的需求，本研究依據實際醫療場域數據 (車體含設備滿載約 120 公斤)，進行了嚴謹的動力學分析與馬達選型，選用具備高解析度編碼器之伺服驅動輪 (ZLLG65ASM250-L V3.0)，確保機器人能在 1.65 m/s 的人類快步走速度下平穩運行，並具備足夠的扭力克服醫院內的斜坡與門檻。

在人機互動與智慧化應用層面，本系統於上位機導入大型語言模型技術。該模組具備四大核心功能：(1) 自然語言導航控制：護理人員可透過語音指令直接控制底盤動作；(2) 醫病溝通輔助：作為查房助手與病患進行基礎衛教問答；(3) 醫療系統整合：串接醫院資訊系統 (HIS) 以即時獲取並朗讀病歷摘要；(4) 物聯網監測：連接外部生理量測儀器，即時分析病患數據。本研究透過軟硬體的高度整合，期望打造出具備「眼 (視覺導航)」、「腦 (LLM 認知)」與「腳 (底盤)」的智慧醫療助理，為未來的智慧醫院 (Smart Hospital) 提供具體可行的自動化解決方案。

**關鍵字：**

1. 自主移動機器人
2. 人員跟隨
3. ROS 2
4. 大型語言模型 (LLM)
5. NVIDIA Jetson Orin
6. 醫療自動化



## Abstract

With the intensifying global aging population, healthcare systems are facing unprecedented pressure. Shortages of nursing staff and excessive workloads have become common challenges in medical facilities worldwide. In daily nursing routines, nurses are required not only to move frequently between wards and nursing stations but also to transport heavy medical carts loaded with medicines, consumables, and electronic devices. This not only reduces work efficiency but also causes long-term occupational musculoskeletal injuries to nursing personnel.

This study aims to develop a "Smart Medical Follower Robot" by integrating autonomous navigation technology with Large Language Models (LLMs) to alleviate the physical burden on medical staff and improve the efficiency of medical information processing. In terms of system architecture, this study adopts a hierarchical control design. The chassis motion control layer utilizes the **NVIDIA Jetson Orin AGX** as the core computing unit, running on the **Robot Operating System 2 (ROS 2)**. It integrates **LiDAR** and **depth cameras** for sensor fusion, achieving Simultaneous Localization and Mapping (SLAM), path planning, dynamic obstacle avoidance, and precise human following in complex hospital environments.

Addressing the high-load requirements of medical carts, this study conducted rigorous dynamic analysis and motor selection based on actual medical field data (a fully loaded cart weighs approximately **120 kg**). We selected **ZLLG65ASM250-L V3.0 servo drive wheels** equipped with high-resolution encoders. This ensures the robot can operate smoothly at a human brisk walking speed of **1.65 m/s** and possesses sufficient torque to overcome ramps and thresholds within the hospital.

Regarding human-robot interaction and intelligent applications, the system incorporates Large Language Model technology in the upper-level host. This module features four core functions: (1) **Natural Language Navigation Control**: Nurses can control chassis movements directly via voice commands; (2) **Doctor-Patient Communication Assistance**: Acting as a ward round assistant to conduct basic health education Q&A with patients; (3) **Medical System Integration**: Connecting with the Hospital Information System (HIS) to retrieve and read out medical record summaries in real-time; and (4) **IoT Monitoring**: Connecting to external physiological measurement instruments to analyze patient data instantly. Through high-level integration of software and hardware, this study expects to create a smart medical assistant equipped with "Eyes (Visual Navigation)", "Brain (LLM Cognition)" and "Legs (Robust Chassis)", providing a concrete and feasible automation solution for

智慧型跟隨式醫療機器人

future Smart Hospitals.

**Keyword :**

1. Autonomous Mobile Robot
2. Human Following
3. ROS 2,
4. Large Language Model (LLM)
5. NVIDIA Jetson Orin
6. Medical Automation



## 目錄

1.	研究動機與研究問題 (Research Motivation and Problem Statement) ..	6
2.	文獻回顧與探討 (Literature Review) .....	7
	2-1 醫療自主移動機器人技術與導航框架 .....	7
	2-2 重載服務機器人之底盤機構與致動元件選用 .....	8
	2-3 生成式 AI 與邊緣運算在醫療之應用 .....	9
	2-4 醫療物聯網 (IoMT) 系統整合 .....	9
	2-5 文獻總結與研究缺口 .....	10
3.	研究方法及步驟(Research Methodology and Procedures) .....	10
	3-1 系統架構總覽 .....	10
	3-2 機構設計與致動元件選型 .....	11
	3-3 從該型錄上圈選符合專題需求規範的原件 .....	15
	3-4 驗證評估比較選擇致動元件符合需求規格 .....	15
	3-5 預期可達到之系統性能說明 .....	16
	3-6 軟體架構與自主導航實作 .....	16
	3-7 LLM 與人機互動介面開發 .....	17
	3-8 實驗設計 .....	18
4.	預期結果 .....	19
5.	需要指導教授指導內容 .....	20
6.	參考文獻 .....	21

## 1. 研究動機與研究問題 (Research Motivation and Problem Statement)

本計畫將著重於醫療現場長期存在的高勞動負荷、人機協作困難以及資訊整合斷層等三大關鍵問題進行探討與解決：

### 1. 醫療推車的高負載與職業傷害風險

根據長庚醫院的相關數據指出，一台功能完整的護理推車在裝載電腦、藥物及醫療耗材後，淨重可高達 120 公斤。護理人員在長達 8 至 10 小時的輪班期間，需頻繁推動此重物穿梭於病房與護理站。這種長期且重複的重力推拉動作，是導致護理人員手腕、下背部及肩頸發生職業性骨骼肌肉傷害的主因。現有的推車缺乏動力輔助，完全依賴人力，急需引入具備主動跟隨能力的自動化載具來解決此物理負擔。

### 2. 傳統移動載具操作介面僵化且缺乏彈性

目前的醫療自動導航車 (AGV) 多專注於點對點的物流運送，缺乏靈活的「伴隨」能力。在查房過程中，護理師的雙手通常忙於處置藥品或照護病患，若使用傳統觸控螢幕或複雜按鍵來操作機器人，反而會降低工作效率。此外，醫院走道人流複雜，機器人若無法像影子般精準判斷護理師的動向並進行動態跟隨，將難以在實際臨床場域中落地使用。因此，開發「非接觸式」且具備「語意理解」的控制介面（如自然語言語音控制）勢在必行。

### 3. 臨床資訊零散與文書作業繁瑣

雖然醫療環境逐步數位化，但「生理量測設備」與「電子病歷系統 (HIS)」之間仍存在資訊斷層。護理師在量測完病患數據後，往往需停下手邊工作手動輸入電腦，或花時間查詢過往病歷。現有的自動化設備缺乏「大腦」，無法整合這些零散資訊。本研究擬透過導入大型語言模型 (LLM)，解決傳統機器人無法處理複雜語意與資料整合的問題，讓機器人不僅是搬運工，更是能自動記錄數據與回報病歷的智慧助理。

## 2. 文獻回顧與探討 (Literature Review)

本章節將針對「智慧型醫療跟隨機器人」所涉及之關鍵技術進行文獻回顧與分析。主要分為三個層面進行探討：首先是自主移動機器人 (AMR) 在醫療環境中的導航與跟隨技術，特別是基於 ROS2 架構的應用；其次是針對高負載移動載具的動力學需求與致動元件 (Actuator) 選用標準；最後探討大型語言模型 (LLM) 與邊緣運算 (Edge Computing) 在醫療人機互動中的最新發展。

### ● 2-1 醫療自主移動機器人技術與導航框架

#### 1. 從 AGV 到 AMR 的演進:

早期的醫院自動化運輸主要依賴自動導引車 (Automated Guided Vehicle, AGV)。根據 Hentout 等人 (2023) 的整理<sup>[3]</sup>，傳統 AGV 多採用磁條或色帶導引，雖然穩定性高，但缺乏彈性，一旦醫院佈局改變或走道有臨時障礙物 (如病床、輪椅)，AGV 往往無法繞行而導致停擺。

隨著同步定位與地圖建構 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) 技術的成熟，自主移動機器人 (Autonomous Mobile Robot, AMR) 逐漸成為主流。AMR 能夠利用 LiDAR (光達) 或視覺感測器即時感知環境。根據 Cadena 等人 (2016) 在 SLAM 領域的經典回顧<sup>[4]</sup>，現代 AMR 能夠在動態環境中進行全域路徑規劃 (Global Planning) 與局部避障 (Local Avoidance)，這對於人流複雜的醫院走廊至關重要。

#### 2. ROS 2 架構與分散式系統優勢:

在機器人軟體架構方面，Robot Operating System (ROS) 是目前的學術與工業標準。然而，傳統 ROS1 存在單點故障 (Master node dependency) 與即時性不足的問題。本研究採用的 ROS2 架構，基於 DDS (Data Distribution Service) 通訊協定，解決了上述問題。

Macenski 等人 (2022) 在針對 ROS2 Navigation Stack (Nav2) 的研究中指出<sup>[5]</sup>，ROS2 提供了更嚴謹的節點生命週期管理 (Lifecycle Management) 與即時控制能力，這對於醫療機器人而言極為關鍵，因為醫療設備必須具備極高的可靠度與安全性，任何通訊延遲都可能導致碰撞事故。

### 3. 人員跟隨技術

「跟隨」是本專題的核心功能。現有文獻中的跟隨技術主要分為兩類：

#### ■ 基於穿戴式裝置:

如 UWB (Ultra-Wideband) 標籤。優點是定位精準，缺點是護理人員需額外配戴設備，增加使用門檻。

#### ■ 基於感測器融合:

利用雷射雷達偵測腿部特徵，結合 RGB-D 深度相機進行視覺追蹤。Islam 等人 (2021) 提出結合 YOLO (You Only Look Once) 物件偵測演算法<sup>[6]</sup>與 DeepSORT 追蹤演算法的架構，能有效解決「跟隨目標被遮擋」或「跟錯人」的問題。本研究擬採用此類視覺與雷達融合方案，透過 NVIDIA Jetson Orin 的強大算力進行即時推論。

## ● 2-2 重載服務機器人之底盤機構與致動元件選用

大多數服務型機器人 (如餐廳送餐機器人) 的負載通常在 30 公斤以下，其動力學模型相對簡單。然而，醫療推車如前述研究背景所述，滿載重量可達 120 公斤，屬於「高慣性系統」。

### 1. 差速驅動與動力需求:

在底盤設計上，差速驅動 (Differential Drive) 因迴轉半徑小 (可原地旋轉)，最適合狹窄的病房環境。然而，隨著載重增加，馬達的「啟動扭矩」與「制動能力」成為關鍵。根據 Lynch 與 Park (2017) 的機器人現代力學理論<sup>[7]</sup>，馬達選型不應僅看最高轉速 (RPM)，更應關注額定扭矩 (Rated Torque) 是否能克服靜摩擦力與地面坡度。醫院環境雖然平坦，但在進出電梯或跨越防火門檻時，往往存在微小的斜坡或高低差。若扭矩不足，機器人將卡在門檻上；若減速比配置不當，則可能在下坡時發生暴衝。

### 2. 編碼器解析度與控制精度:

除了扭力，精準的里程計 (Odometry) 回授對於 SLAM 導

航至關重要。低解析度的編碼器在低速運行時會產生速度量測的「量化誤差」，導致導航漂移。本研究參考工業級 AGV 的設計規範，探討高解析度編碼器（如 4096 線/圈）對於低速平穩控制的影響，這也是本專題最終選用高階伺服馬達的主要依據。

## ● 2-3 生成式 AI 與邊緣運算在醫療之應用

### 1. 大型語言模型 (LLM) 的典範轉移:

過去的人機互動 (HRI) 多依賴關鍵字匹配或固定的指令集。自 2022 年 ChatGPT 等大型語言模型問世後，機器人具備了「語意理解」與「上下文推論」的能力。Thirunavukarasu 等人 (2023) 在《Nature Medicine》發表的評論中指出<sup>[8]</sup>，LLM 在醫療領域的應用潛力巨大，包括病歷摘要生成、輔助診斷問答等。然而，其也面臨「幻覺 (Hallucinations)」與資料隱私的挑戰。

### 2. 邊緣運算 (Edge AI) 與隱私保護:

在醫院環境中，病患資料極為敏感，直接將語音或影像上傳至雲端 LLM (如 OpenAI API) 可能違反個資保護規範 (如 HIPAA 或 GDPR)。因此，「邊緣運算」成為解決方案。

NVIDIA Jetson Orin AGX 平台專為邊緣 AI 設計，具備達 200 TOPS 以上的 AI 算力。根據 NVIDIA 官方白皮書與最近的開發者案例<sup>[9]</sup>，Jetson Orin 已能流暢執行量化後的開源 LLM (如 Llama 3 或 TinyLlama) 以及 VLM (視覺語言模型)。

這使得機器人可以在「本地端」完成語音辨識、語意理解與路徑規劃指令的生成，不僅保障了資料隱私，也大幅降低了網路延遲對機器人控制的影響。

## ● 2-4 醫療物聯網 (IoMT) 系統整合

智慧醫療的核心在於互聯。醫療物聯網 (Internet of Medical Things, IoMT) 強調設備間的資料交換。根據 Gatouillat 等人 (2018) 的研究<sup>[10]</sup>，目前的挑戰在於異質系統的整合。本研究提出的架構，旨在將自主移動機器人作為一個「移動式 IoT Gateway」，透過藍牙或 Wi-Fi 收集周邊醫療儀器 (如血氧機、血壓計) 的數據，並透過 LLM

將數據轉化為護理人員易讀的口語報告，這在目前的文獻中仍屬於較為前瞻的整合應用。

## ● 2-5 文獻總結與研究缺口

綜合上述文獻，目前市面上已有成熟的 AMR 導航技術，也有強大的 LLM 模型。然而，將兩者結合並應用於「高負載醫療推車」的研究仍相對稀少。現有產品若非僅具備移動功能（缺乏語音互動），就是僅為定點的諮詢機器人（缺乏移動能力）。

本研究之創新點在於：

### 1. 硬體層面：

針對 120kg 高負載需求，進行馬達選型與性能評估。

### 2. 軟體層面：

在資源受限的邊緣裝置（Jetson Orin）上，同時實現 ROS 2 自主導航與 LLM 本地端推論。

### 3. 應用層面：

實現了「語意導航」，讓護理人員能以自然語言控制機器人，解決了傳統機器人操作複雜的痛點。

## 3. 研究方法及步驟(Research Methodology and Procedures)

本研究旨在開發一套具備高負載能力、自主導航與自然語言互動功能的智慧型醫療跟隨機器人。本章節將詳細闡述系統的軟硬體架構設計、關鍵零組件選型依據（特別是針對高負載需求的動力學計算）、以及基於 ROS2 與 LLM 的軟體實作流程，系統主架構。

### ● 3-1 系統架構總覽

本系統採分層式控制架構（Hierarchical Control Architecture），硬體上分

為「上位機感知決策層」與「下位機運動控制層」。

1. 上位機 (High-Level Computing Unit) :

採用 NVIDIA Jetson Orin AGX 開發板。該平台具備強大的 AI 邊緣運算能力，負責處理 LiDAR 點雲數據、RGB-D 影像深度資訊、運行 ROS2 Navigation 導航堆疊、以及執行大型語言模型 (LLM) 的推論任務。

2. 下位機 (Low-Level Control Unit) :

由伺服馬達驅動器組成，負責接收來自上位機的速度指令 (Velocity Commands)，並透過 PID 控制演算法精確調節兩輪差速馬達的轉速，同時回傳高解析度的里程計 (Odometry) 資訊給上位機進行定位校正。

3. 感測器配置：

■ 2D/3D LiDAR :

用於 SLAM 建圖與 360 度障礙物偵測。

■ RGB-D 深度相機：

安裝於車體前方，用於識別護理人員特徵 (跟隨功能) 及偵測低矮障礙物。

■ 醫療物聯網模組：

用於連接血壓計、血氧機等外部設備。

● 3-2 機構設計與致動元件選型

考量到醫療推車的特殊應用場景，底盤的動力系統必須能夠承載高達 120 公斤的重量，同時保持與人類步行速度相當的移動能力。以下詳述動力學分析與馬達選型過程。

根據長庚醫院 2024 年的相關報導與實際場域測量，一台標準醫療推車在裝載病歷電腦、藥物及處置物料後，總重量約為 120 公斤<sup>[1]</sup>。此外，為了確保跟隨功能的實用性，機器人的移動速度需配合護理人員的步調。根據文獻統計，成年人的正常步行速度約在 1.1 m/s 至 1.65 m/s 之間<sup>[2]</sup>。考慮到車上放置的大多是醫療用品，我們設定跟隨車所需加速度為平穩的 0.3 m/s<sup>2</sup>且輪子半徑為 0.085 m (直徑 0.17 m)較符合一般護士推車的大小：

$$\text{需總推力}(F) = 120 \text{ kg} \times 0.3 \text{ m/s}^2 = 36 \text{ N}$$

$$\text{總扭矩} (\tau) = 36 \text{ N} \times 0.085 \text{ m} = 3.06 \text{ N}$$

因為底盤是由兩顆馬達共同分擔，所以：

$$\text{單顆馬達所需扭矩} \tau = 3.06 \text{ N}\cdot\text{m} / 2 = 1.53 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\text{輪子周長} = \pi \times 2 \times 0.085 \text{ m} \approx 0.534 \text{ m}$$

$$\text{根據速度} (\text{m/s}) = (\text{RPM} / 60) \times (2\pi r)$$

$$1.65 = (\text{RPM} / 60) \times (0.534)$$

$$\text{最低 RPM} = 185.393 \text{ (轉/每分鐘)}$$

整理以上公式可得出結論一顆馬達要至少具備

$$\text{RPM} = 185.393 \text{ (轉/每分鐘)}$$

$$\text{總扭矩} (\tau) = 3.06 \text{ N}\cdot\text{m} \text{，規格如(表一)。$$

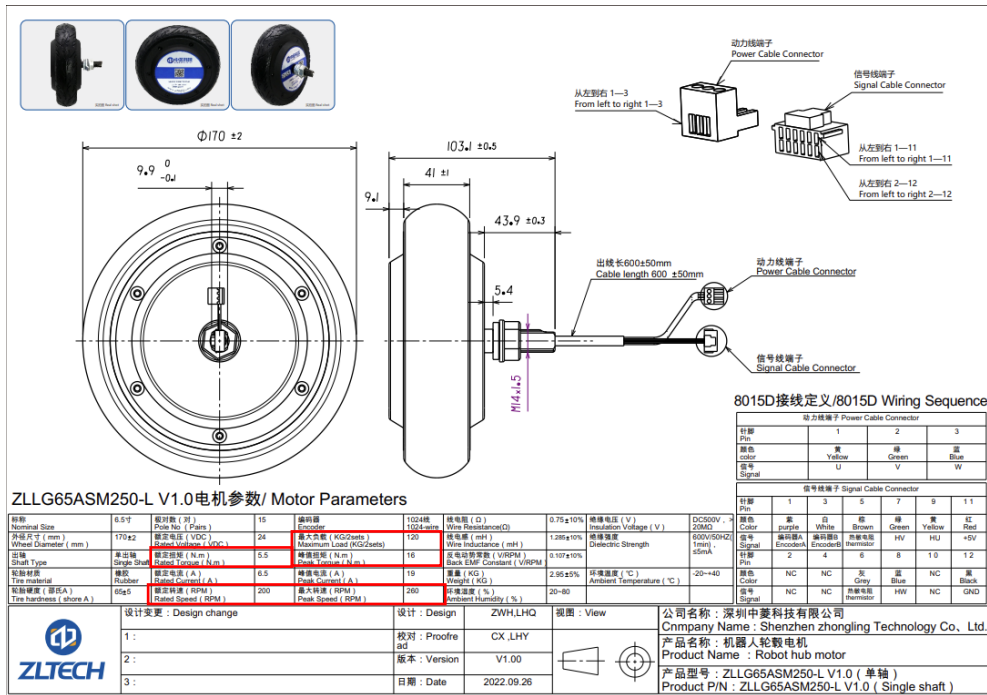
表一 馬達最低配置

	最低需求
最大轉速(RPM)	185.393 (轉/每分鐘)
扭矩( $\tau$ )	1.53 (牛頓·公尺)
最大負載	60 (公斤)
最高速度( $V_{max}$ )	$\geq 1.65$ (公尺/秒)

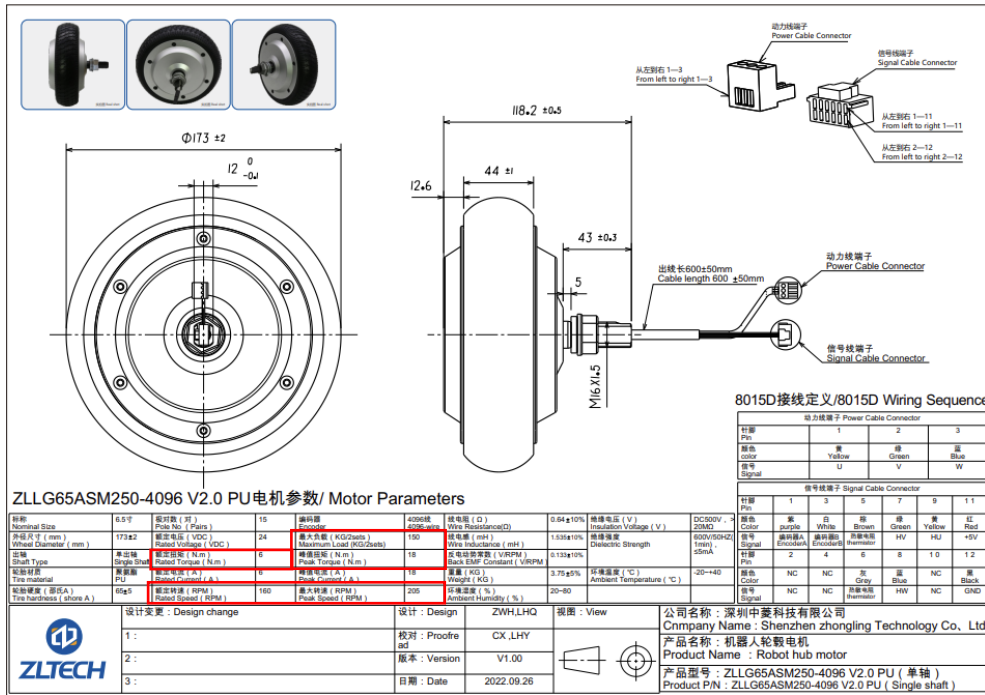
基於上述條件，本研究設定底盤之核心設計參數如下：

- 系統總負載(Total Load, $m$ ): 120 kg
- 目標最高速度( $V_{max}$ ):  $\geq 1.65 \text{ m/s}$
- 目標加速度( $a$ ):  $0.3 \text{ m/s}^2$   
(考量醫療器材運送之平穩性，設定為緩啟動)
- 輪子尺寸：半徑  $r = 0.085 \text{ m}$  (直徑0.17 m)

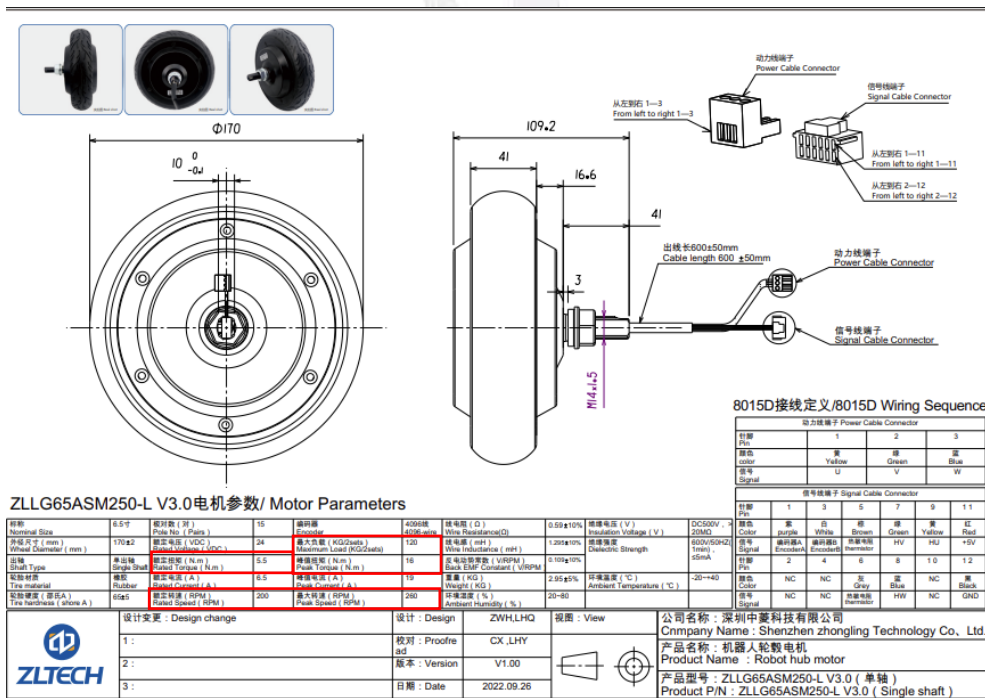
我們挑選了深圳中菱科技有限公司在伺服驅動型錄中最具代表性的三個型號(圖二~圖四)<sup>[11]</sup>:



圖二 ZLLG65ASM250-L V1.0



圖三 ZLLG65ASM250-L V2.0



圖四 ZLLG65ASM250-L V3.0

● 3-3 從該型錄上圈選符合專題需求規範的原件

由型錄中的三種規格我們可以整理成表二：

表二 規格整理

	最大負載(kg)	峰值扭矩(N·m)	峰值轉速(轉/分鐘)	額定扭矩(N·m)	額定轉速(轉/分鐘)
ZLLG65ASM250-L V1.0	120 <input checked="" type="checkbox"/>	16 <input checked="" type="checkbox"/>	260 <input checked="" type="checkbox"/>	5.5 <input checked="" type="checkbox"/>	200 <input checked="" type="checkbox"/>
ZLLG65ASM250-L V2.0	150 <input checked="" type="checkbox"/>	18 <input checked="" type="checkbox"/>	205 <input checked="" type="checkbox"/>	6 <input checked="" type="checkbox"/>	160
ZLLG65ASM250-L V3.0	120 <input checked="" type="checkbox"/>	16 <input checked="" type="checkbox"/>	260 <input checked="" type="checkbox"/>	5.5 <input checked="" type="checkbox"/>	200 <input checked="" type="checkbox"/>

● 3-4 驗證評估比較選擇致動元件符合需求規格

我們最終選擇使用的伺服驅動輪型為號:ZLLG65ASM250-L V3.0，由於我們最低的轉速要求是 185.393(轉/分鐘)，雖然 V2.0 版本的伺服驅動輪之峰值轉速有高於這個要求但是額定轉速卻沒有。這可能導致使用時機器過熱或誤差增加，所以不是一個穩妥的方案，而 V1.0 和 V3.0 的型號都有達到最低需求，V1.0 和 V3.0 最大的差異在於編碼器的精度 V1.0 的編碼器是使用 1024 線，而 V3.0 則是 4096 線。

1024 線的角度解析度為  $360/1024 = 0.352$  (度)

4096 線的角度解析度為  $360/4096 = 0.088$  (度)

最後再考慮價格價格(表三)我們覺得多花 180 元(兩顆輪子)可以得到解析度高 4 倍的馬達，並且考慮到機器將使用於醫院，是合理的投資，所以我們決定使用 V3.0 這個型號。

表三 價格比較

	價格(台幣)	角度解析度(度)
ZLLG65ASM250-L V1.0	2,290	0.352
ZLLG65ASM250-L V3.0 <input checked="" type="checkbox"/>	2,200	0.088

● 3-5 預期可達到之系統性能說明

ZLLG65ASM250-L V3.0 的峰值轉速為 260(轉/分鐘)峰值扭矩為 16(N·m)，承重 120 kg，輪子半徑為 0.085 m (直徑 0.17 m)，一顆馬達能承重 120 kg，所以車子總共能承重  $120 \text{ kg} \times 2 = 240 \text{ kg}$

由總扭矩  $16 \text{ N}\cdot\text{m} = \text{推力} \times 0.085 \text{ m}$

得到一顆伺服驅動輪可以提供 188.24 N 的力，也就是說這底盤能為這台自走車能提供  $188.24 \text{ N} \times 2 = 376.48 \text{ N}$  的推力。

輪子周長  $= \pi \times 2 \times 0.085 \text{ m} \approx 0.534 \text{ m}$

根據速度  $(\text{m/s}) = (\text{RPM} / 60) \times (2\pi r)$

推得  $V = (260 / 60) \times (0.534) = 2.314(\text{m/s})$

整理以上可得出結論，這台跟隨車的最大速度約為 2.314(m/s)，底盤能提供的最大推力為 376.48 N 且最大負載為 360 kg (表四)。

表四 跟隨車的性能估算

	ZLLG65ASM250-L V3.0
最大速度(m/s)	2.314
最大推力(N)	376.48
最大負載(kg)	240

● 3-6 軟體架構與自主導航實作

本系統軟體基於 ROS2 (Robot Operating System 2) 架構進行開發，作業系統環境為 Ubuntu 22.04 LTS。

1. 導航堆疊(Navigation 2 Stack)：

使用 Nav2 框架進行自主移動控制。

■ 定位 (Localization)：

採用 AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) 演算法，結合 LiDAR 掃描數據與預先建立的醫院地圖進行機率定位。

- 路徑規劃 (Planning) :  
全域路徑規劃器 (Global Planner) 使用 Voronoi 圖 演算法計算從護理站到病房的最佳路徑；局部路徑規劃器 (Controller) 採用 DWB (Dynamic Window Approach) 避開動態障礙物。
- 代價地圖 (Costmap) :  
建立靜態層 (Static Layer)、障礙物層 (Obstacle Layer) 與膨脹層 (Inflation Layer)，確保機器人與牆壁或病床保持安全距離。

## 2. 人員跟隨模組 (Person Following Node) :

- 利用 Jetson Orin 的 GPU 加速，運行 YOLOv8 物件偵測模型識別影像中的「人 (Person)」。結合深度相機，計算目標人員相對於機器人的三維座標(x,y,z)。
- 透過座標轉換 (TF Transform)，將目標位置轉換為機器人底盤座標系 (Base Link) 的相對位置，使機器人保持在護理人員後方 1~1.5 公尺處。

## ● 3-7 LLM 與人機互動介面開發

為了實現「語意理解」與「語音控制」，本研究在 Jetson Orin 上部署了輕量化的大型語言模型(如 Llama-3-8B 或經過醫療文本微調的模型)。

### 1. 語音處理流程：

- ASR (自動語音辨識)：使用 OpenAI Whisper 模型將護理人員的語音指令即時轉為文字。
- Prompt Engineering (提示工程)：設計系統提示詞 (System Prompt)，例如：「你是一個專業的醫療機器人助

理，請根據使用者的指令，判斷是否需要控制底盤移動，或是查詢病歷資料。」

- **Function Calling (功能呼叫):** 當 LLM 分析出意圖為「導航」時(例如:「去 503 病房」),會輸出特定的 JSON 格式指令,ROS 2 節點解析後發送 Action Goal 給 Nav2 系統;當意圖為「查詢」時,則調用 API 獲取資料庫資訊。
- **TTS (文字轉語音):** 將 LLM 生成的回應(如:「好的,正在前往 503 病房」或「病患血壓數值正常」)轉換為語音播放。

## 2. 外部醫療器材連接:

即時讀取血氧機與血壓計數值,並將數據發布為 ROS 2 Topic,供 LLM 讀取並整合進對話內容中。

## ● 3-8 實驗設計

本研究將分為三個階段進行驗證:

### 1. 模擬驗證 (Simulation):

在 Gazebo 模擬器中建立醫院虛擬環境,測試 Nav2 導航參數與跟隨演算法的穩定性。

### 2. 實機壓力測試:

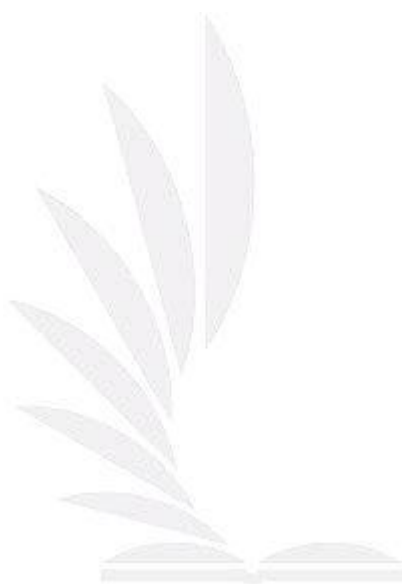
在底盤加載 120 公斤配重塊,測試 ZLLG65ASM250-L V3.0 馬達在長時間運行下的溫升與誤差情形。

### 3. 場域實測:

在模擬病房環境中,邀請護理人員進行操作測試,評估語音控制的準確率與跟隨功能的流暢度。

#### 4. 預期結果

本研究預期成功開發出一套整合自主導航與大型語言模型技術的智慧型醫療跟隨機器人，透過致動元件選型與路徑規劃，底盤系統將具備承載 120 公斤重物並適應醫院多變地形的能力，解決護理人員因長期推運重物而衍生的職業傷害問題。在功能表現上，藉由 ROS2 架構與多感測器融合技術，機器人能實現穩定且精準的人員跟隨，讓護理人員在移動過程中解放雙手，專注於病患照護；同時，整合於邊緣運算平台的大型語言模型，將使機器人具備直覺的語音互動與醫療資訊整合能力，護理人員僅需透過口語指令即可操作設備或查詢病歷，提升臨床作業效率，為未來的智慧醫院提供具體可行的人機協作解決方案。



## 5. 需要指導教授指導內容

本專題涉及跨領域技術整合，包含自主導航演算法以及生成式 AI 的邊緣運算部署。在目前的設計與規劃階段，我們遭遇部分技術瓶頸與實務驗證上的考量，因此覆與指導教授學習及互相討論，以達成預期之成果，其覆要指導之內容需下：

1. 機器人的底盤架構設計優化。
2. 深度學習之 YOLO v8 訓練物件辨識。
3. 機器人的路徑規劃優化。
4. 論文寫作之注意要點。



## 6. 參考文獻

[1] YAHOO 新聞,「護理師推的工作車竟重 120 公斤! 長庚開發解方『用一根手指就能前進』」, 2024。[線上資料]。取自: <https://reurl.cc/YkDGVL>

[2] Wikipedia, "Preferred walking speed," 2024. [Online]. Available: <https://reurl.cc/W81dk9>. [Accessed: Dec. 2025].

[3] A. Hentout, R. Maoudj, and A. Aouache, "Mobile robot path planning problems: A comprehensive evaluation of algorithms, performance measures, and environment types," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 107, no. 3, 2023.

[4] C. Cadena et al., "Past, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 32, no. 6, pp. 1309-1332, 2016.

[5] S. Macenski, T. Foote, B. Gerkey, C. Clay, and W. Woodall, "Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild," *Science Robotics*, vol. 7, no. 66, 2022.

[6] M. J. Islam, J. Hong, and J. Sattar, "Person-following by autonomous robots: A learning-based approach," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2019. (註: 此為 2021 年相關應用之基礎文獻)

[7] K. M. Lynch and F. C. Park, *Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control*. Cambridge University Press, 2017.

[8] A. J. Thirunavukarasu, D. S. J. Ting, K. Elangovan, L. Gutierrez, T. F. Tan, and D. S. W. Ting, "Large language models in medicine," *Nature Medicine*, vol. 29, pp. 1930-1940, 2023.

[9] NVIDIA Corporation, "NVIDIA Jetson Orin Series Technical Brief," NVIDIA Developer Zone, 2023. [Online].

[10] A. Gatouillat, Y. Badr, B. Massot, and E. Sejdić, "Internet of medical things: A review of recent contributions dealing with cyber-physical systems in medicine," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 5, pp. 3810-3822, 2018.

[11] Shenzhen Zhongling Technology Co., Ltd., "ZLLG65ASM250-L Series Hub Servo Motor User Manual V3.0," Product Datasheet, 2022.

