

基於代理式人工智慧與毫米波雷達 之主動式智慧居家照護系統 Proactive Smart Home Care System Based on Agentic AI and mmWave Radar

指導教授：王能中

梁振杰 王宇鴻 蕭筠儒 蔡昀蓁 劉祐丞

國立聯合大學資訊工程學系

苗栗市南勢里聯大二號

ncwang@nuu.edu.tw

{U1233041,U1217051,U1224007,U1224014,U1224052}@o365.nuu.edu.tw

摘要

隨著全球高齡化社會的到來，獨居老人的居家安全與健康監測成為重要議題。傳統穿戴式裝置容易造成長輩不適或忘記配戴，且一般的環境監測無法有效掌握生理狀況。本研究旨在開發一套非接觸式的智慧居家照護系統。系統結合毫米波雷達技術，針對生理數據監測進行心率與呼吸率的即時擷取，並進一步計算心率變異與呼吸變異，以此進行呼吸中止症判定及睡眠狀態分析。此外，系統整合溫濕度感測器與環境光感測器，並導入 AI Agent 進行綜合判斷與分析。當環境或生理指標異常時，AI Agent 可自動控制居家設備，並結合 PostgreSQL 資料庫記錄數據。最終，系統透過網頁前端與 LINE Bot 進行即時資訊呈現與異常警示，為高齡者提供一個安全、舒適且無負擔的智慧居家照護環境。

Abstract

With the advent of an aging global population, home safety and health monitoring for elderly individuals living alone have emerged as critical issues. Traditional wearable devices often cause discomfort or are easily forgotten by the elderly, while general environmental monitoring systems fail to effectively capture physiological conditions. This study aims to

develop a non-contact smart home care system. The system integrates mmWave radar technology for real-time physiological data monitoring, extracting heart rate and respiratory rate. It further calculates heart rate variability (HRV) and respiratory rate variability (RRV) to perform sleep apnea classification and sleep state analysis. Furthermore, the system incorporates temperature, humidity, and ambient light sensors, introducing an AI Agent for comprehensive evaluation and analysis. Upon detecting abnormal environmental or physiological indicators, the AI Agent autonomously controls smart home appliances while logging data into a PostgreSQL database. Ultimately, the system provides real-time data visualization and anomaly alerts through a web frontend and a LINE Bot, delivering a safe, comfortable, and burden-free smart home care environment for the elderly.

簡介

1.1. 前言

隨著老年人口比例攀升，獨居或日間缺乏陪伴的長者面臨較高的健康與安全風險。傳統的照護方式多依賴人力巡視或穿戴式生理量測設備。然而，穿戴式設備

常因需要充電、配戴不適或長輩遺忘而失去效用。另一方面，攝影機則存在嚴重的隱私疑慮，使長輩產生抗拒心理。因此，如何利用非接觸、無感且保護隱私的技術來即時監測長者的生理與環境狀態，成為目前急需解決的問題。

1.2. 研究動機

為了有效解決上述問題，我們的研究目標是開發一套非接觸性且高度自動化的智慧居家照護系統。系統透過毫米波雷達收集生理特徵，並結合環境感測器，將所有數據交由 AI Agent 進行綜合分析，產出自然語言的分析報告。系統能透過網頁與 LINE Bot 雙平台，讓家屬或照護者即時掌握長者的睡眠狀態與突發狀況。

1.3 相關研究

在現有的居家照護技術中，大致可分為穿戴式監測與視覺辨識兩類。穿戴式設備雖然精準，但依賴使用者主動配合；視覺辨識系統則有死角與隱私爭議。本系統採用毫米波雷達，突破了光線與隱私的限制，並導入了大型語言模型 AI Agent 進行情境推論，這比傳統僅依賴單一閾值觸發警報的物聯網系統更加靈活且人性化。

2. 系統內容

在本研究中，我們透過感測器蒐集生理資訊並存入資料庫，接著在不同需求時根據自然語言進行資訊查詢與分析，最終將結果顯示在網頁及 LINE Bot 供照護者閱覽。

2.1. 系統架構

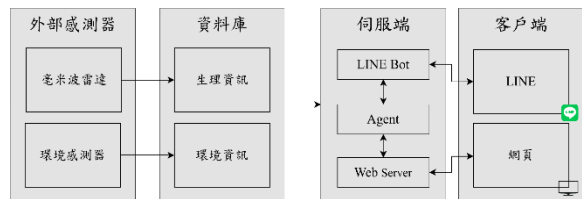
本系統架構由多層次模組組成，涵蓋資料收集、檢索增強生成(RAG)與智慧決策交互等階段。首先，系統透過佈建於居家環境中的 60GHz 毫米波雷達與溫濕度感測器，擷取長輩即時的生理(如心率、呼吸)與環境數據。資料經由邊緣設備採集後，傳送至後端伺服器(Flask)進行統一處

理，並將感測歷史數據與系統處置紀錄安全儲存於 PostgreSQL 資料庫中。

在知識建構方面，本系統建立了雙軌制的本地知識庫體系：其一為存放專業衛教指南的靜態文件庫，用於防範 AI 產生醫療幻覺；其二為「動態專屬記憶庫」，透過系統自動寫入長輩的病史與生活習慣。這些資料庫共同構成了 AI 決策系統的上下文基礎。

當系統感測到數值異常，或家屬透過 LINE Bot 提出照護詢問時，資訊會交由核心的 AI Agent 進行處理。Agent 會自動呼叫檢索工具(Tool Calling)，綜合調閱資料庫中的歷史數據與本地知識庫的衛教資訊。取得充分依據後，生成模組會產出具備高度上下文感知的照護決策。

最後，系統會將 AI 生成的決策轉化為實際行動。除了透過 LINE Bot 或 Pushover 將處置結果即時推播給家屬外，系統更可直接連動 Tuya 智慧家電(如防跌夜燈、電風扇)執行環境控制。同時，所有互動與控制紀錄均會回寫至資料庫中。整體而言，本系統形成一條從精準感測、知識檢索、自主決策到多平台響應的完整照護流程。



圖一：系統架構圖。

2.2. 相關技術

2.2.1 生成式人工智慧 (Generative AI, GAI)

生成式人工智慧(GAI)基於深度學習進行預訓練，使模型具備高度的自然語言理解與生成能力。相較於傳統基於規則(Rule-based)的刻板照護警示系統，GAI能理解家屬的自然語言詢問，並將生硬冰冷的感測器數據轉化為溫暖且易懂的照護報告，大幅提升人機互動的流暢度與實用性[2]。

2.2.2. 大語言模型代理 (Large Language Model Agent, LLM Agent)

大語言模型代理(LLM Agent)是賦予語言模型「行動能力」的進階技術。透過定義外部工具(Tools)或函式呼叫(Function Calling), Agent 能夠自主決定何時讀取歷史數據、檢索衛教知識或發送控制指令。本系統依賴 Agent 作為核心大腦,使其從單純的聊天機器人升級為具備邏輯推理與實體環境控制能力的智慧管家。

2.2.3. 代理式檢索增強生成 (Agentic Retrieval-Augmented Generation, Agentic RAG)

代理式檢索增強生成(Agentic RAG)有別於依賴向量資料庫的傳統靜態檢索,改以 LLM Agent 的自主意圖判斷為驅動。系統賦予 Agent 讀取本地端檔案目錄與 Markdown 文件的工具權限,使其能在面對專業衛教詢問時,精準翻閱對應的醫療指南並納入上下文。此技術不僅有效消除 AI 的醫療幻覺(Hallucination),確保照護建議的安全性,亦大幅降低了系統維護的複雜度。

2.2.4. 毫米波雷達感測技術 (mmWave Radar Sensing)

採用 Joybien BM201 60GHz 毫米波感測開發套件作為非接觸式生理訊號量測設備,其核心晶片為 Texas Instruments(TI)IWR6843 毫米波感測器。毫米波雷達透過發射與接收高頻電磁波,分析人體胸腔因呼吸與心跳所產生之微小位移變化,進而進行生理訊號量測[3]。

BM201 生命徵象偵測(Vital Signs Detection, VSD)模式可於約 30 公分至 90 公分範圍內進行非接觸式監測,輸出心率(Heart Rate)與呼吸率(Breath Rate)等生命徵象資訊。並利用毫米波雷達取得之生理訊號,萃取心率變異度(Heart Rate Variability, HRV)等相關特徵,作為睡眠狀態分析與睡眠呼吸中止症(Obstructive Sleep Apnea, OSA)分類模型之輸入資料。

相較於穿戴式感測器或攝影機系統,毫米波雷達具有無須配戴、隱私保護佳、可全天候監測及非接觸式量測等優點,因此適合作為智慧居家照護系統之核心感測技術。

2.2.5. 睡眠狀態與呼吸中止症分類 (Sleep State and Sleep Apnea Classification)

利用毫米波雷達擷取之生理訊號,包含心率、呼吸率等特徵,進行睡眠狀態與呼吸中止症分類。由於生理訊號具有時間序列特性,因此本研究採用 BiLSTM(Bidirectional Long Short-Term Memory)結合 Attention 機制建立深度學習模型,以提升模型對長時間生理變化的學習能力。

系統可根據輸入之生理特徵,判斷使用者目前之睡眠狀態,並進一步進行呼吸中止症風險分類,作為智慧照護系統之健康預警依據。

為驗證模型之可信度,本專題使用 Accuracy、Precision、Recall 與 F1-score 作為評估指標,並透過混淆矩陣分析模型預測結果。其中,由於呼吸中止症屬於高風險健康問題,因此特別重視 Recall 指標,以降低漏判風險並提升系統之實用性。

3. 系統功能

3.1. 介面設計

本系統提供「網頁端」及「LINE Bot」行動端,讓照護人員能跨平台流暢操作。

3.2. 智慧居家照護

系統支援文字輸入,並動態顯示生理資訊,可藉由自然語言詢問相關照護知識以及感測數據及用藥等資訊。

3.2.1. AI 照護對話

透過 API 串接大型語言模型(LLM),打造專屬照護助手。系統具備上下文記憶能力並支援多輪連續對話,讓照護人員能直接以自然語言詢問長者健康狀況或日常照護問題,系統將即時給予精準的回覆。

3.2.2. 健康監控

後端整合 PostgreSQL 資料庫處理感測數據。即時動態顯示長者的核心生理數值(包含心率、呼吸率及各項相位變化)，並同步呈現室內溫濕度與光照數據。當任一數值偏離安全閾值時，系統會以視覺化提示進行警示，讓照護人員一眼掌握長者狀態。

3.2.3. 用藥提醒介面

串接資料庫、LINE Bot、網頁，提供照護人員新增、檢視及刪除長者專屬的用藥排程。系統支援自訂服藥頻率如每天、每幾天一次)與多個具體提醒時間，並透過背景排程自動比對，於指定時間主動於 LINE Bot 發送服藥通知，確保長者按時用藥，有效降低漏藥風險並減輕照護人員的管理負擔。

3.2.4. 居家環境分析

本功能整合 PostgreSQL 資料庫、LINE Messaging API 與 QuickChart 服務。使用者可透過 LINE 內建的圖文選單與快速回覆(Quick Reply)按鈕，查詢過去 6、12 或 24 小時的歷史環境紀錄。當接收到查詢指令，系統會自動計算時段內的溫濕度平均值，將其渲染成視覺化的趨勢折線圖回傳。同時，AI 照護助理會綜合評估環境波動(如日夜溫差)，並推送貼近生活情境的關懷建議與綜合報告。

3.2.5. 健康監控分析

本功能整合毫米波雷達、PostgreSQL 資料庫、LINE Messaging API 與 QuickChart 服務。使用者同樣可透過 LINE 內建的圖文選單與快速回覆(Quick Reply)按鈕，查詢過去 6、12 或 24 小時的歷史環境紀錄。當接收到查詢指令，系統會自動計算時段內的心率及呼吸率的平均值，將其渲染成視覺化的趨勢折線圖回傳。同時，AI 照護助理會綜合評估數值波動，並推送健康評估與關懷建議綜合報告。

3.2.6. 查看所有趨勢圖

本功能本功能整合 PostgreSQL 資料庫、LINE Messaging API 與 QuickChart 服務。當使用者觸發此功能時，系統會自動向資料庫提取過去 8 小時之完整生理與環境感測數據並計算時段內數值的平均值。將生成的四張趨勢折線圖封裝於單一輪播訊息中推送至聊天室。使用者只需在手機螢幕上左右滑動，即可流暢地切換並比對長輩過去 8 小時內的各項關鍵健康與環境指標。

3.2.7. 語音提醒(TTS)功能

系統整合文字轉語音(Text-to-Speech, TTS)技術，搭配 PostgreSQL 資料庫中的用藥排程資料，於指定時間自動播放語音提醒。系統會即時讀取資料庫內的藥品名稱與提醒時間，並透過語音合成引擎將提醒內容轉換為自然語音。

此外，照護人員亦可透過網頁介面發送即時語音公告，系統將文字內容轉換成語音後立即播放，方便進行臨時通知或照護提醒。所有語音播放紀錄皆會同步儲存於資料庫中，供後續查詢與管理。此功能可提升長者接收提醒的即時性與便利性，降低因忽略文字訊息而造成漏服藥物的風險，進一步強化智慧照護系統的實用性與完整性。

4. 系統實作成果

4.1.1. 核心 Agent 工具實作

大型語言模型(LLM)本身具備強大的語意理解與推理能力，但缺乏主動獲取外部即時資訊的手段。本系統為 AI Agent 開發了一套專屬的工具庫(Tool API)，賦予系統「感知」與「執行」的能力。系統將核心工具劃分為五大模組，透過動態身分綁定(user_id)與防呆機制，確保每一次工具調用的安全性與準確性。

A. 日誌紀錄模組

對話與處置紀錄工具為確保醫療與照護情境下的資訊可稽核性，此工具被設定為系統回覆前的必經節點。Agent 會主動將「使用者原始提問」與「系統執行的處置描述」封裝，並透過 API 儲

存至後端資料庫，形成完整的互動歷程紀錄。

B. 新增用藥提醒工具

負責處理使用者的用藥設定需求，具備雙重防呆機制。在自然語言層面，若使用者未提供具體時間，Agent 會主動反問攔截，在程式邏輯層面，工具會自動分析語意中的「間隔天數」與「頻率」，並校正，避免錯誤的排程寫入資料庫。

C. 查詢用藥清單工具

負責檢索特定使用者的當前用藥設定。Agent 傳入動態使用者 ID 後，系統會將後端資料庫中的結構化 JSON 資料，轉換為易於 LLM 閱讀與口語表達的文字清單格式。

D. 歷史感測趨勢查詢工具

針對需要長時間觀察的評估指標(如睡眠品質、異常狀態持續性)，此工具允許 Agent 指定查詢過去特定小時數的歷史資料，賦予系統時間序列數據的分析能力。

E. 專屬記憶寫入工具

此為實現個人化照護的關鍵工具。當系統在對話中辨識出使用者的重要習慣、病史或偏好時，Agent 會主動觸發此工具，將帶有時間戳記的資訊寫入該使用者的專屬 Markdown 記憶檔中，實現跨對話的長期記憶留存，記憶寫入工具流程圖如。

F. 知識庫目錄探索工具

為解決傳統檢索盲點，此工具作為多步驟檢索的第一步。Agent 遇到專業問題時，會先調用此工具掃描本地端知識庫目錄結構，精準鎖定包含目標知識的資料夾與檔案名稱，檢索目錄工具流程圖。

G. 實體文字檔讀取工具

接續目錄探索，Agent 會調用此工具以多種編碼格式(如 UTF-8、Big5)實際打開並精讀 Markdown 或純文字檔內容。此機制確保 LLM 能獲取完整上下文，提升回答的事實性與可溯源性。

H. 系統時間獲取工具

由於語言模型本身無內建時間觀念，此工具負責提供系統當下真實的日期、時間與星期資訊，作為觸發定時任務、判斷日夜情境與吃藥時間的絕對基準。

I. LINE 主動推播工具

當 Agent 綜合感測數據與對話內容，研判出現健康異常、緊急狀況或需要提供晨間報告時，會調用此工具。系統將 Agent 擬定的通報內容直接推播至家屬的 LINE，實現零時差的遠距照護通報。

6. 專題作品影音平台網址

https://youtu.be/1Yr9Lk-s844?si=aPcoG3GP-dWX0_7X

參考文獻

- [1] A. Biswas, W. Talukdar, M. R. Scott, et al., *Building Agentic AI Systems: Create Intelligent, Autonomous AI Agents That Can Reason, Plan, And Adapt*, Packt Publishing, 2025.
- [2] C. F. Akuma, P. Hewage, and A. Garg, et al., "AI Agents: A Comprehensive Review of Evolution, Architectures, Applications, And Future Directions," *2025 12th International Conference on Reliability, Infocom Technologies And Optimization (Trends And Future Directions) (ICRITO)*, pp. 1-5, 2025.
- [3] PiePie Taiwan, "60GHz mmWave Sensor Evaluation Solution Kit BM201", Available: <https://piepie.com.tw/35206/mmwave-sensor-evaluation-solution-kit-bm201>
- [4] MULTI Consortium, C. K. O'Toole, Z. Song, F. Anagnostakis, Z. Yang, Y. E. Tian, M. R. Duggan, C. Zou, Y. Leng,

- Y. Cai, W. Bai, C. H. Y. Fu, M. S. Rafii, P. Aisen, G. Wang, P. L. De Jager, J. Zeng, H. S.-H. Oh, X. Zhou, K. A. Walker, D. W. Belsky, A. Zalesky, E. M. Simonsick, S. M. Resnick, L. Ferrucci, C. Davatzikos, and J. Wen, "Sleep chart of biological ageing clocks in middle and late life," **Nature**, 2026
- [5] Taipei City Hospital Yangming Branch, Taipei City Government, “簡介打鼾及睡眠呼吸中止症,” Taipei City Government, Health Education Article. [Online].
Available: https://tpech.gov.taipei/mp109181/News_Content.aspx?n=80359412498D4193&sms=D6D8C221F7AECFEE&s=8295CA97F08DEF84&shem=rimspwouoe, 2018
- [6] Taipei City Hospital Yangming Branch, Taipei City Government, “十個擁有優質睡眠的方法,” Taipei City Government, Taipei, Taiwan. [Online].
Available: https://tpech.gov.taipei/mp109181/News_Content.aspx?n=80359412498D4193&sms=D6D8C221F7AECFEE&s=A1B0440414A1134F, 2012
- [7] Kuang Tien General Hospital, “睡眠呼吸中止症治療全攻略：耳鼻喉睡眠外科醫師解析打鼾成因、CPAP 與客製化睡眠外科手術,” Kuang Tien General Hospital, Taiwan. [Online].
Available: <https://www.ktgh.com.tw/ktgh/Department/DptNewsDetail/691E650002AA52530BEF6B8541115B97>, 2025
- [8] LY Corporation, "Messaging API documentation," LINE Developers, [Online]
Available: <https://developers.line.biz/en/docs/messaging-api/>, 2026.
- [9] LY Corporation, "LINE Login documentation," LINE Developers, [Online].
Available: <https://developers.line.biz/en/docs/line-login/>, 2026.