

逢甲大學學生報告 ePaper

智慧洗澡系統：預防高溫燙傷之老人照護應用

Smart Bathing System: Preventing High-Temperature
Scald Injuries in Elderly Care

作者：李承恩

系級：自控二乙

學號：D1226521

開課老師：黃清輝

課程名稱：感測與度量工程

開課系所：自動控制工程學系

開課學年：113 學年度 第 2 學期



中文摘要

本研究旨在解決高齡者沐浴過程中因水溫過高導致的燙傷風險。隨著人口高齡化，長者因皮膚感知下降與反應遲緩，常難以及時察覺水溫異常，增加危險性。為此，本研究提出一套智慧洗澡安全系統，透過即時監控與自動防護機制，提升沐浴安全並減輕照護者負擔。系統以 LM35 溫度感測器量測水溫，經 LM358 運算放大器處理後送入 ESP32 微控制器判斷。當溫度超過 45°C，ESP32 立即驅動 MOSFET 切斷電磁閥水源，同時啟動紅色 LED 燈條與喇叭模組播放語音，提供視聽雙重警示。異常數據同步上傳至伺服器並於 Web App 呈現，便於家屬遠端監控。硬體設計納入穩壓電源、語音播放控制器、防水 LED 燈條等，確保在浴室高濕環境下依然穩定運作。軟體部分則以 ESP32 為核心，搭配 Arduino IDE、Flask API 與 RWD 網頁前端，整合監控與資料紀錄功能。實驗結果顯示，本系統能即時偵測水溫異常並自動執行斷水警示，有效降低長者燙傷風險，提升居家安全與照護品質。

關鍵字：水溫異常、高齡者、智慧洗澡安全系統、燙傷風險、斷水警示

Abstract

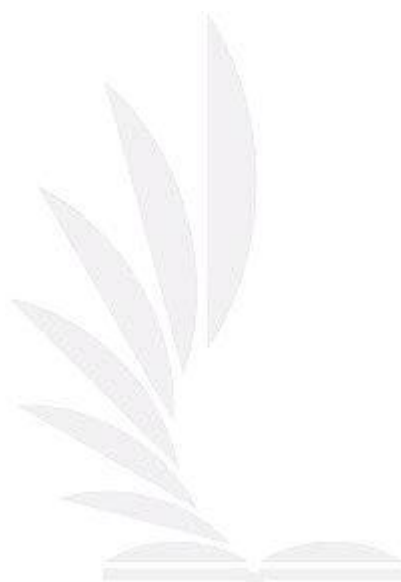
This paper aims to solve the risk of scalding caused by excessively high water temperatures during the bathing process of older adults. With the aging population, elderly individuals often find it difficult to promptly perceive abnormal water temperatures due to reduced skin sensitivity and slower reactions. This situation increases the danger. To solve this problem, this paper proposes an “intelligent bathing safety system” that enhances bathing safety and reduces the burden on caregivers through real-time monitoring and automatic protection mechanisms. The system measures water temperature using an LM35 temperature sensor and processes the signal with an LM358 operational amplifier. The processed signal is then sent to an ESP32 microcontroller for judgment. When the temperature exceeds 45°C, the ESP32 immediately drives a MOSFET to cut off the solenoid valve water supply. At the same time, it activates a red LED light strip and a speaker module to play a voice alert, providing both visual and auditory warnings. Abnormal data is simultaneously uploaded to a server and displayed on a web app, enabling family members to monitor remotely. The hardware design incorporates a regulated power supply, a voice playback controller, waterproof LED light strips, and other components to ensure stable operation in the high-humidity bathroom environment. On the software side, the system is built around the ESP32, integrated with Arduino IDE, Flask API, and an RWD web front end to support monitoring and data recording functions. Experimental results show that the system can detect abnormal water temperatures in real time and automatically execute water outage warnings. This effectively reduces the risk of scalding in older adults and improves home safety and caregiving quality.

Keyword : abnormal water temperatures, intelligent bathing safety system, older adults, risk of scalding, water outage warnings

目錄

一、研究動機與研究目的.....	7
二、文獻探討與回顧.....	8
● 智慧沐浴系統之相關研究.....	8
三、研究方法與步驟.....	9
A. 硬體設計.....	10
I. LM35 溫度感測器	10
II. 電源供應模組.....	11
(1)12 V DC 充電器	11
(2)LM2596 可調式降壓模組.....	12
III. 訊號轉換與放大電路.....	13
(1)運算放大器(LM358).....	13
(2)旁路電容(0.1 μ F 陶瓷電容 + 10 μ F 電解電容).....	14
(3)保護電路(1N4148 小訊號二極體)	14
IV. 語音與視覺警示模組.....	14
(1)語音播放控制器 (ESP32 微控制器+ microSD 擴充)	14
(2)喇叭模組與擴音器(3W JR6001 喇叭模組+PAM8403 擴音器).15	
(3)紅色 LED 高亮燈條(12 V)	15
(4)MOSFET 控制模組(IRF540N).....	16
V. 熱水控制所需的電磁閥.....	16
(1)12 V 直流電磁閥	16
(2)二極體 (1N4007)	17
B. 軟體系統開發.....	17
C. 溫度安全判斷機制.....	18

四、 結論與未來展望.....	18
五、 元件型錄.....	19
六、 參考文獻.....	21



圖目錄

圖 1 「智慧洗澡系統」使用情境圖	7
圖 2 「智慧洗澡系統」系統示意圖	9
圖 3 系統功能架構圖	10
圖 4 LM35 接腳圖	11
圖 5 雙線裸出示意圖	12
圖 6 LM2596 可調式降壓模組接腳圖	13
圖 7 LM2596 可調式降壓模組電路圖	13
圖 8 LM358 腳位圖	14
圖 9 ESP32 微控制器腳位圖	15
圖 10 JR6001 喇叭模組腳位圖	15
圖 11 IRF540N 接腳圖	16
圖 12 (a)登入介面與(b)「異常追蹤」功能介面圖	18

表目錄

表 1 使用材料表.....	19
----------------	----



一、 研究動機與研究目的

在高齡化社會快速演進的當下，老人安全照護已成為亟需解決的社會議題。根據衛福部統計資料顯示，65 歲以上長者在在家中發生意外事故的比例逐年上升，其中「洗澡時的高溫燙傷與滑倒事件」更是主要風險之一。由於年長者的皮膚對熱刺激的敏感度下降，加上反應速度變慢，往往在水溫過高時無法即時察覺並做出反應，導致嚴重燙傷。尤其對於獨居長者、行動不便者或失智患者來說，沐浴過程中的危險更是成倍增加。

傳統的熱水器或沐浴設備，多半仰賴人工判斷水溫是否合適，缺乏即時預警與自動保護機制，若家屬不在場，長者將暴露於不可控的風險中。因此，如何設計一套即時感測、能自動反應的智慧溫控系统，不僅攸關居家安全，也能減輕照護者的精神與行動負擔。

本研究即以此為出發點，結合溫度感測與自動控制技術，設計一套適用於浴室環境的「智慧洗澡系統」。透過高精度感測器即時監控水溫、整合自動關水與聲光警示功能，當溫度異常升高時，系統能主動切斷熱水供應並提示使用者，避免危險發生。同時藉由線性化電路設計與精密參數調校，提升整體感測穩定度與反應速度，確保在惡劣環境下依然能正常運作，真正實現「智慧、安全、安心」的沐浴照護目標。「智慧洗澡系統」使用情境圖如圖 1 所示。

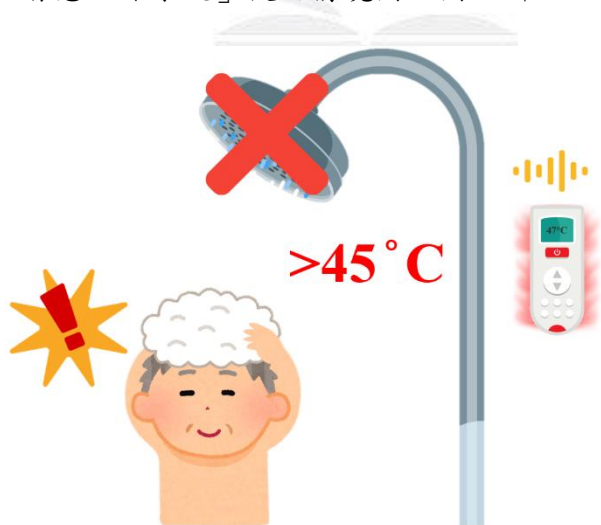


圖 1 「智慧洗澡系統」使用情境圖

二、 文獻探討與回顧

● 智慧沐浴系統之相關研究

在高齡化社會趨勢下，智慧沐浴系統的開發愈加受到重視。長者因生理機能退化，如皮膚變薄、皮脂腺萎縮及體溫調節能力下降，若沐浴過久或水溫過高，容易導致皮膚乾癢、燙傷，甚至因體內熱量難以散發而引發大腦缺血、頭暈甚至跌倒等嚴重意外。因此，如何有效監控與調節洗澡水溫，是保障長者安全的核心關鍵[1]。

早期設計如 SmartBath 系統即整合自動化控制技術，支援水溫與水壓控制，提供單一照護者執行完整洗澡流程的操作能力。然而該系統缺乏即時回饋與精準水溫量測，難以應對動態環境下的突發狀況，使用門檻亦偏高[2]。

2020 年，Li 等人則提出以 YOLOv5s 為核心，搭配 RGB-D 深度感測器的機器人智慧擦洗系統，強調高精度目標定位與軌跡規劃能力，在複雜場景中具備良好性能。該系統在皮膚定位精度平均誤差 2.2mm 內，確保擦洗操作準確性，並兼顧安全距離設定。不過，該系統側重於擦洗路徑控制，對水溫過高警示、使用者主動感知介面設計等層面著墨不足，成本與場域限制也阻礙其普及性[3]。

針對家庭泡澡過程中的潛在風險，Wei 等人於同年提出之智慧型泡澡輔具則結合 IoT 低功耗架構與內部水溫量測技術，針對一般家庭泡澡風險提出簡潔且高精度的解法。該裝置設計成菇狀結構，漂浮在水面上，內部感測器深入水下 5 公分精準監控實際泡澡溫度，避免表面誤差。透過補償演算法，其測量誤差小於 0.3°C，並能透過藍牙將即時數據傳送至手機 App 警示使用者，成功解決傳統表層溫度偵測不準與高成本健康監測系統無法普及的痛點。相較其他系統，此設計以最低成本與簡潔結構，提供了最穩定的水溫安全保障與高使用性，特別適合應用於智慧洗澡系統[4]。

另一方面，市售產品 Micro Sun 所開發的「長者／幼兒感溫沐浴花灑」，該裝置透過 LED 顯示不同水溫範圍，當溫度高於攝氏 46 度時會閃爍紅光進行警

示，讓使用者能即時透過視覺掌握水溫狀態，有效降低燙傷風險。然而，該產品同樣無法記錄或分析水溫變化趨勢，也缺乏語音提示與主動反應機制，因此仍偏向被動式的輔助工具，而非具備即時回應能力的主動安全系統[5]。

因此本研究所開發的智慧洗澡系統，正是為了解決上述限制所設計。本團隊導入水溫即時監測與多重提示機制，結合語音廣播與高亮度 LED 燈條視覺警示，水溫過高時系統不僅主動提醒，還能自動關閉加熱源，避免進一步升溫；並考慮到長者視力與反應力退化，使用大尺寸 LCD 與視覺集中顯示方式提升辨識度。相較於僅依賴視覺變色的單一機制或成本高昂的機器人系統，本系統強調「準確、即時、低門檻」，兼顧實務場域的操作便利與硬體可近性，提供一套更全面、實用的智慧沐浴照護方案。

此外，系統亦設計專屬 Web App，讓家屬可透過網路即時監控異常水溫數據，一旦偵測到潛在危險，即可即時掌握長者的洗澡狀況，進一步提升遠端照護的效率與即時性。

三、研究方法與步驟

本研究的實施過程可分為三大核心部分：硬體設計、軟體系統開發，以及溫度安全判斷機制。三者相互整合，構建出一套高效、安全且具實用性的智慧洗澡溫控系統，提升整體使用者體驗與遠端監控便利性。系統示意圖如圖 2 所示。接下來會先為為您講述系統功能的部分。



圖 2 「智慧洗澡系統」系統示意圖

本系統主要有分「防燙警示」與「異常追蹤」兩大功能，系統功能架構圖如圖 3 所示。

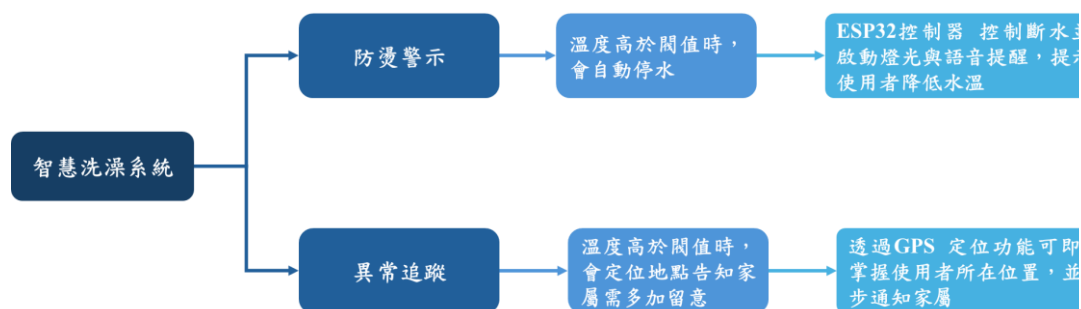


圖 3 系統功能架構圖

● 防燙警示

「防燙警示」功能旨在即時偵測熱水溫度是否過高，並於超過 45°C 時，自動停止熱水供應並警示使用者，以預防高溫燙傷意外，除了對年長者適用之外，兒童和感知較弱的兒童也很適合本系統。

● 異常追蹤

「異常追蹤」功能旨在即時紀錄並呈現超過 45°C 時所發生的異常事件。當偵測到異常狀況，系統不僅會自動執行斷水與警示流程，還會透過 GPS 功能即時定位使用者的所在位置。系統會同步通知家屬，以便他們能第一時間掌握現場情況，避免意外發生並提供必要協助。

A. 硬體設計

硬體設計部分著重於整體系統中感測與控制元件的整合與最佳化配置。主要元件包括 LM35 溫度感測器、電源供應模組、訊號轉換與放大電路、語音與視覺警示模組，以及熱水控制所需的電磁閥。各元件皆經過精密選型與實測，考量其量測準確度、環境穩定性、反應速度及濕熱環境下的耐用性，確保系統能於實際浴室情境中長時間穩定運作，並即時回應溫度異常情況，有效提升使用者安全。

I. LM35 溫度感測器

系統中所採用之 LM35 感測器具備高穩定性與線性輸出特性，其溫度對應

之電壓信號變化具可預測性，便於系統進行準確換算與判斷。其輸出電壓與攝氏溫度呈線性正比關係，可直接由控制核心透過模擬訊號轉換（ADC）進行解析，無需額外補償或複雜運算，即可取得即時溫度資訊。LM35 接腳圖如圖 4 所示。

透過該機制，當感測器輸出電壓為 0.35V，代表對應水溫為 35°C；輸出為 0.45V 時則對應 45°C。系統即依此設定 35°C 至 45°C 為安全溫控範圍，當感測結果超出上限值，將自動啟動熱水關閉、視覺與語音警示等保護機制，以降低高溫燙傷風險並確保整體使用安全。

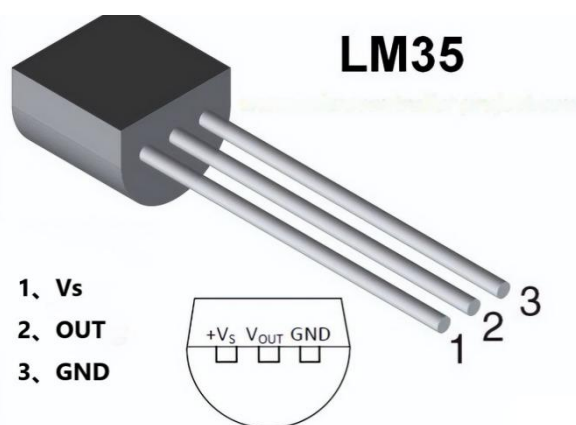


圖 4 LM35 接腳圖

II. 電源供應模組

(1) 12 V DC 充電器

本系統採用外接式 12 V/3 A/36 W 規格的充電器作為整體電力來源，具備高穩定性與安全性，適用於室內長時間運作需求。供電端以市電 110V AC 輸入，透過高效率開關型變壓器轉換為 12V DC 輸出，並輸出端採雙線裸出形式，方便連接至內部降壓模組與控制電路進一步供應電磁閥、LED 燈條、控制模組等所有元件所需電壓。雙線裸出示意圖如圖 5 所示。

考量實際安裝環境多為浴室等高濕、高水氣場所，電源模組採「安裝於牆外與電源線引入牆內」之設計，避免高壓電源直接暴露於潮濕環境中，提升使用者安全。12 V DC 線路引入裝置內部時，將透過防水接

頭或防水軟管進行保護，並搭配耐濕線材與矽膠封口，確保長期使用下不產生短路、鏽蝕等電氣風險。



圖 5 雙線裸出示意圖

(2) LM2596 可調式降壓模組

本系統採用 LM2596 可調式降壓模組，作為主電源（12V DC）轉換為邏輯與感測元件所需之 5V 穩壓電源的關鍵元件。LM2596 為一款具備高效率與寬電壓輸入範圍的開關式降壓穩壓模組（Buck Converter），可將輸入電壓有效轉換為較低電壓，且穩定輸出至下游負載，同時具備良好的溫升控制與過電流保護特性，適用於嵌入式系統多點供電的場景。LM2596 可調式降壓模組接腳圖如圖 6 所示。LM2596 可調式降壓模組電路圖如圖 7 所示

在本系統中，LM2596 模組主要負責將 12V 輸入電源降壓至穩定的 5V 輸出，供應 ESP32 微控制器、LM35 感測器、microSD 語音播放模組與其他 5V 元件使用。模組本身具備電位器可供調壓，並內建輸出電容與濾波電路，可大幅降低電壓波動與高頻雜訊，有助於提升溫度感測精度與語音播放穩定度。

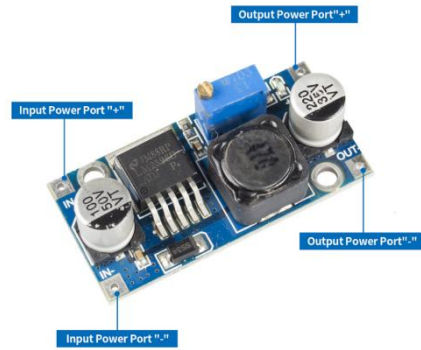


圖 6 LM2596 可調式降壓模組接腳圖

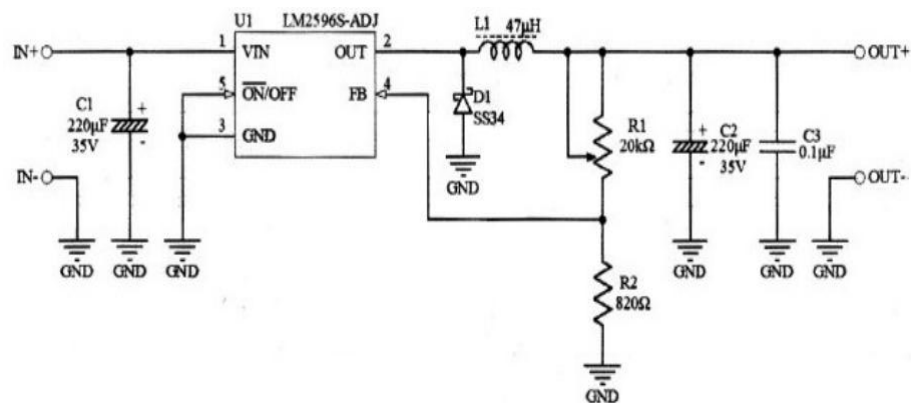


圖 7 LM2596 可調式降壓模組電路圖

III. 訊號轉換與放大電路

在本系統中，訊號轉換與放大電路主要負責將 LM358 運算放大器所輸出的類比電壓訊號，穩定且有效地傳遞至 ESP32 微控制器的模擬輸入端進行數位轉換與溫度判讀。此設計能確保感測數據具備良好的線性與穩定性，有助於提升溫度監測的準確性與系統整體反應效率。所需的主要元件如下：

(1) 運算放大器(LM358)

將使用 LM358 用於類比訊號的放大與緩衝，強化輸出穩定性。其可配置為單端放大器、電壓隨耦器或低通濾波器，以提升系統抗雜訊能力，避免高頻干擾對 ADC 準確度產生影響。LM358 腳位圖如圖 8 所示。

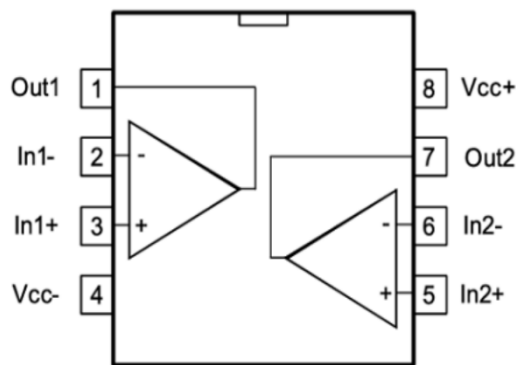


圖 8 LM358 腳位圖

(2) 旁路電容(0.1 μF 陶瓷電容 + 10 μF 電解電容)

在 LM358 放大器的 Vcc 與 GND 間並聯 0.1 μF 陶瓷電容與 10 μF 電解電容，可同時濾除高頻雜訊與穩定低頻漣波，並提供瞬時電流補償。此配置有助於避免電源不穩造成的訊號漂移，確保 LM358 在放大與緩衝過程中穩定運作，提升整體系統的準確性與可靠性。

(3) 保護電路(1N4148 小訊號二極體)

可配置於 LM358 的輸出端與 GND 或 Vcc 間，用以抑制突波或反向電壓，避免高電壓意外傳入 ESP32 的 ADC 腳位造成損害，進一步提升整體系統的穩定性與安全性。

IV. 語音與視覺警示模組

本系統於超過 45°C 將同時啟動語音與視覺雙重提示，以提升使用者的即時辨識能力與反應效率，特別針對高齡者或感官反應較弱者進行友善設計。警示模組透過 ESP32 微控制器判斷溫度狀態並發出觸發訊號，驅動語音播放與高亮度燈條，實現多感官同步提示機制。所需的主要元件如下：

(1) 語音播放控制器（ESP32 微控制器+ microSD 擴充）

ESP32 微控制器內部具備 I/O 控制與 DAC 輸出能力，可透過外接 microSD 模組讀取預先儲存之語音 MP3 檔案，如：「水溫過高，已自動關閉熱水」，並透過串流播放方式將語音資料輸出至喇叭模組，達成語

音提示功能。此架構免去語音辨識與網路連線，穩定度高、反應即時。

ESP32 微控制器腳位圖如圖 9 所示。

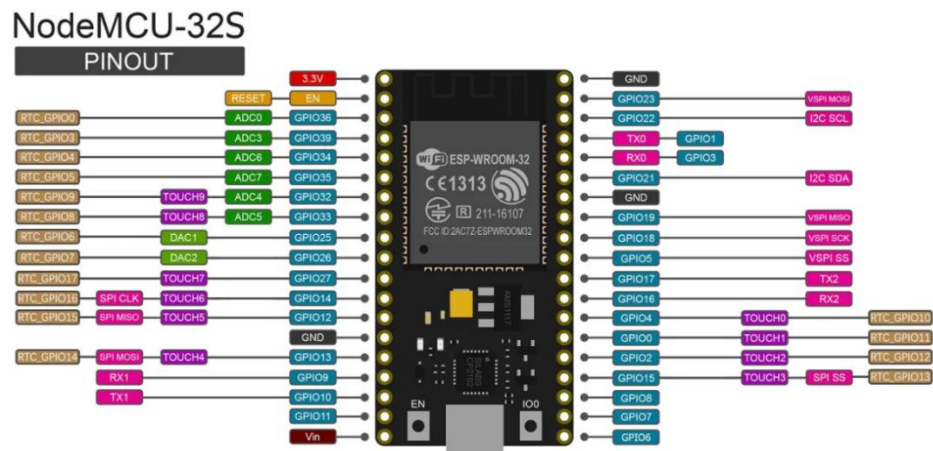


圖 9 ESP32 微控制器腳位圖

(2) 喇叭模組與擴音器(3W JR6001 喇叭模組 + PAM8403 擴音器)

為確保語音播放清晰可辨，本系統搭配 3W JR6001 喇叭 PAM8403 擴音模組，提供足夠的音量輸出，能有效克服衛浴環境中常見的回音與水聲干擾，確保警示語音在各種噪音條件下仍能清楚傳達給使用者。

JR6001 喇叭模組腳位圖如圖 10 所示。

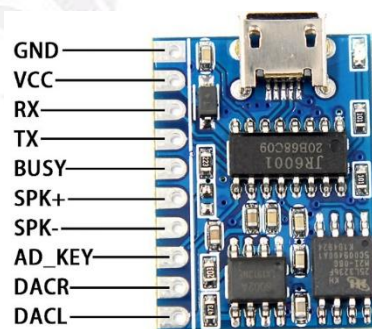


圖 10 JR6001 喇叭模組腳位圖

(3) 紅色 LED 高亮燈條(12 V)

作為視覺提示主元件，燈條於溫度異常時即時啟動發光，具備高可視性與迅速反應特性，能有效吸引使用者注意。燈條設置位置經過使用情境考量，特別貼附於實體遙控器的周圍區域，當警示燈亮起時可與操

作動作同步出現視覺提示，強化使用者的即時感知能力。燈條本體選用具備防水與防腐蝕能力之材質，可耐浴室中濕熱與水氣環境，確保長期使用下仍維持穩定與安全。

(4) MOSFET 控制模組(IRF540N)

當水溫超過設定的安全閾值時，ESP32 微控制器會透過 GPIO 腳位輸出 HIGH 訊號，觸發 MOSFET 導通，進而驅動 12V 電磁閥切斷熱水供應，同時啟動紅色 LED 燈條與喇叭，提供即時的視覺與聲音警示。當溫度恢復至安全範圍內，ESP32 會將輸出訊號切換為 LOW，關閉 MOSFET，終止異常狀態下的供電，恢復正常供水，並同步關閉警示燈與語音提示裝置，確保系統在異常與正常狀態間能自動切換與即時應對。IRF540N 接腳圖如圖 11 所示。

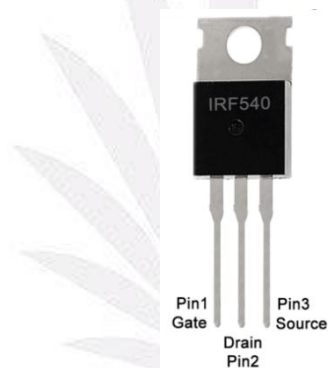


圖 11 IRF540N 接腳圖

V. 熱水控制所需的電磁閥

(1) 12 V 直流電磁閥

選用直流驅動、常閉型電磁閥，當無電時維持關閉狀態，僅在接收到控制訊號時導通，開啟熱水。此設計確保在突發斷電或系統故障時，能自動關閉水源，提升整體安全性。電磁閥選擇需具備防鏽、防垢、耐熱等條件，並適用於自來水或熱水管路系統。

(2) 二極體 (1N4007)

為避免電磁閥關閉瞬間所產生之反向感應電壓損壞 MOSFET 與主控制電路，於電磁閥兩端配置續流二極體進行保護，吸收感性負載釋放的突波電壓，避免對系統造成損傷。

B. 軟體系統開發

軟體設計方面，本系統以 ESP32 為核心控制器，進行嵌入式程式撰寫與控制邏輯實現。主要功能包含：即時讀取 LM35 溫度感測器的資料、判斷是否超過安全閾值 45°C、控制電磁閥進行熱水開關，並於異常情況下自動播放語音提示、啟動紅色 LED 燈條以提供即時視覺警示。系統控制邏輯採模組化架構，具備良好的維護性與擴充性。

考量使用者多為高齡者，操作介面採用具防潑水能力的實體遙控器，按鍵設計大面積、防滑且具觸感回饋，搭配 LED 燈條提示狀態變化，提升操作便利性與安全性。語音提示部分透過播放預儲於 microSD 卡中的語音 MP3(「水溫過高，已自動關閉熱水」) 進行提示，語音自然清楚，增進使用者體驗。

此外，系統同步將異常紀錄透過 HTTP API 傳送至本地伺服器，並儲存至 SQLite 資料庫中進行歷程記錄與分析。為了方便照護者即時查閱系統狀態與異常紀錄，亦設計一套具備響應式網頁設計 (Responsive Web Design, RWD) 的 Web App 前端介面，可於手機、平板與桌機流暢呈現。系統介面圖如圖 12 所示。

整體軟體開發採用 Arduino IDE 撰寫 ESP32 微控制器的程式碼，後端伺服器使用 Python Flask 框架搭建 API 與資料接收介面，前端網頁則採用 HTML 與 CSS 與 JavaScript 開發，確保系統具備即時性、可視化與良好使用體驗。



圖 12 (a)登入介面與(b)「異常追蹤」功能介面圖

C. 溫度安全判斷機制

本系統以「溫度安全判斷機制」為核心邏輯，透過 LM35 溫度感測器的線性電壓轉換技術，精準對應感測電壓至實際水溫，並即時進行溫度分析與處理。系統內建多重安全條件判斷流程，其中包含：當水溫超過 45°C 時，將立即啟動語音提示並點亮紅色 LED 燈條，同時自動關閉電磁閥以停止熱水供應，有效預防高溫燙傷風險。

四、 結論與未來展望

本系統成功建構出一套具備溫度偵測、自動關水、語音與視覺警示等多重防護功能的智慧洗澡安全系統。透過 LM35 溫度感測器、ESP32 微控制器、MOSFET 驅動模組與紅色高亮度 LED 燈條等元件整合，能即時應對洗澡過程中熱水溫度異常狀況，有效降低高齡者因高溫造成燙傷的風險，提升沐浴安全性與照護品質。

未來可進一步加入模組化設計與零件狀態診斷機制，例如導入自我檢測功能，以判斷哪個元件發生故障，並透過螢幕或語音主動提示使用者進行維修或更換。此外，也可採用可拆卸式結構設計，方便日後保養、升級或替換特定模組，提升系統的維護彈性與使用壽命。此類擴充性設計有助於應用於不同空間與需求情境中，並朝向長期照護與家庭安全監控等多元應用領域進一步發展。

五、 元件型錄

表 1 使用材料表

分類	元件名稱	數量
控制核心	ESP32 開發板 	1
溫度感測	LM35 溫度感測器 	1
語音播放	microSD 模組 	1
語音播放	3 W JR6001 喇叭模組 	1
	PAM8403 小型喇叭 	1

視覺警示	紅色高亮LED燈條 (12V) 	1
驅動控制	MOSFET 控制模組 (IRF540N) 	2
電源供應	12V DC 充電器 	1
電源供應	LM2596 降壓模組 	1
水流控制	12V 常閉型電磁閥 	1
輔助元件	保護電路二極體(IN4148) 	1
	保護電路二極體(IN4007) 	5

	電容(0.1 μF) 	2
	電容(10 μF) 	3
	防水熱縮套管(5mm) 	20

六、參考文獻

- [1] 臺中榮民總醫院護理衛教. (2014, April 22). 高齡長者皮膚護理-銀髮族小心皮膚病上身. 臺中榮總. <https://reurl.cc/rE2lVO>
- [2] Bezerra, K., Gonzalez, L., Machado, J., Carvalho, V., Soares, F., & Matos, D. (2017, June). Smartbath: Water temperature control system. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (pp. 1003–1009). <https://doi.org/10.1109/ICE.2017.8279991>
- [3] Li, P., Feng, S., & Yu, H. (2025). Research on target localization and adaptive scrubbing of intelligent bathing assistance system. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13, 1550875. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1550875>
- [4] Wei, Q., Kang, S. M., & Lee, J. H. (2020). Designing a smart bath assistive device based on measuring inner water temperature for

bathing temperature monitoring. *Sensors*, 20(8), 2405.

<https://doi.org/10.3390/s20082405>

[5] Health Concept Editorial. (2020, August 31). 燒傷燙傷是常見長者

意外：煮食沐浴時需注意這幾點. *Health Concept 健康資訊*.

<https://reurl.cc/W0g4oD>

