

國防部 113 年度「補助軍事院校教師(官)從事學術研究」
結 案 報 告

研究計畫名稱：
應用生理雷達感測之智能消防裝置開發



委託單位：國防部(空軍司令部)

研究單位：空軍航空技術學院

研究計畫主持人：空軍航空技術學院
航空電子工程科陳政隆講師

共同主持人：空軍航空技術學院
航空通電系廖家德副教授

協同主持人：空軍航空技術學院
航空電子工程科吳峰蒼助理教授

協同主持人：空軍航空技術學院
航空通電系吳威龍助理教授

國防部編印

摘要

本研究開發了一款智慧消防裝置，融合了生理雷達感測技術、無線連接及多感測模組，能即時監測火災現場的煙霧、溫度變化，以及被困人員的生命體徵資訊。傳統的消防偵測器多僅具備單一功能，例如偵測煙霧或溫度異常，無法全面掌握火災現場的動態環境，更無法提供被困人員的精確定位資訊。相比之下，本研究設計的裝置在火災情境中可同步監測多種參數，並整合至中央控制系統，提供一體化的智慧消防方案。

裝置的核心亮點為生理雷達技術，透過分析微小的雷達信號變化，即時偵測人員的心跳和呼吸，提供被困人員的位置資訊，協助救援人員更精準地定位目標。生理雷達能捕捉人體的微小運動，即便是在視線受阻的情況下，仍能辨識心率與呼吸模式，大幅提升救援效率和精確度。火災發生時，裝置即時感測煙霧和溫度的劇烈變化，並迅速通過無線傳輸將警報和相關數據傳送至中央控制系統或用戶的移動設備，提醒用戶疏散並通知消防隊員現場情況。

除了火災應用，本裝置亦可應用於智慧住宅的健康管理，透過持續監測用戶的生命體徵，提供健康預警，增加居家安全性。在日常生活中，裝置可實時監控用戶的心跳與呼吸等健康參數，當偵測到異常時，自動發出通知至用戶或遠端監護者，實現智能化的健康管理。

本研究的裝置整合環境監測與生理感測功能，不僅能協助火災救援時提供更全面的資訊，也能作為智慧住宅健康與安全管理的多功能裝置。透過即時數據傳輸和綜合分析，救援隊員或用戶可以更快速做出應對決策，減少人員傷亡和財產損失。該裝置不僅提升了火災預警的準確性和反應速度，更兼具健康監測功能，為智慧住宅帶來更高的安全性和便利性，具有廣泛的應用潛力。

關鍵字：數據分析、物聯網(IOT)、生理雷達、遠程監控

Abstract

This study has developed an intelligent fire protection device that integrates physiological radar sensing technology, wireless connectivity, and multiple sensing modules. It can monitor smoke, temperature changes, and the vital sign information of trapped individuals at fire scenes in real time. Traditional fire detectors often have only a single function, such as detecting smoke or abnormal temperatures, and cannot fully grasp the dynamic environment of a fire scene, let alone provide precise location information of trapped persons. In contrast, the device designed in this study can simultaneously monitor multiple parameters in fire scenarios and integrate them into a central control system, providing an integrated intelligent fire protection solution.

The core highlight of the device is its physiological radar technology. By analyzing subtle changes in radar signals, it can instantly detect a person's heartbeat and breathing, providing location information of trapped individuals and assisting rescuers in more accurately locating targets. The physiological radar can capture the body's minute movements, and even when visibility is obstructed, it can still recognize heart rate and breathing patterns, significantly enhancing rescue efficiency and accuracy. When a fire occurs, the device instantly senses drastic changes in smoke and temperature and quickly transmits alarms and relevant data wirelessly to the central control system or residents' mobile devices, alerting residents to evacuate and informing firefighters of the on-site situation.

In addition to fire applications, this device can also be applied in health management for smart homes. By continuously monitoring the vital signs of residents, it provides health warnings, increasing home safety. In daily life, the device can monitor health parameters such as residents' heartbeat and breathing in real time. When abnormalities are detected, it automatically sends notifications to residents or remote caregivers, achieving intelligent health management.

The device developed in this study integrates environmental monitoring and physiological sensing functions. It not only provides more comprehensive information during fire rescue operations but also serves

as a multifunctional device for health and safety management in smart homes. Through real-time data transmission and comprehensive analysis, rescuers or residents can make responsive decisions more quickly, reducing casualties and property losses. The device not only enhances the accuracy and response speed of fire warnings but also features health monitoring functions, bringing higher safety and convenience to smart homes and demonstrating broad application potential.

Keywords : Data analysis, Internet of Things (IoT), Physiological radar, Remote monitorin

目次

摘要 i

Abstract ii

第一章 緒論 6

 第一節 研究緣起與背景： 6

 第二節 研究目的及研究重點： 7

 第三節 研究架構 11

 第四節 執行流程 13

第二章 文獻探討 14

第三章 系統實作與介紹 24

第四章 系統教學成效 31

第五章 結論 34

參考資料 35

個人資料表 37

任務編組表 38

圖次

圖 1：光電式煙霧感測器（摘自 National Fire Protection Association）	8
圖 2：離子式煙霧感測器（摘自 National Fire Protection Association）	8
圖 3：IoT 架構及關鍵技術（摘自科學月刊 2014 年 534 期） ..	10
圖 4：系統架構	11
圖 5：系統流程圖	12
圖 6：60GHz 毫米波雷達模組	24
圖 7：煙霧感測器	25
圖 8：溫度感測器	25
圖 9：二氧化碳感測器	25
圖 10：火焰感測器	25
圖 11：成品內部展示 1	28
圖 12：成品內部展示 2	28
圖 13：系統實行流程圖	29
圖 14：成品外部展示	30
圖 15：IOT MQTT Panel	30
圖 16：台灣創新博覽會發明競賽	33
圖 17：2024 第 11 屆高雄國際發明暨設計展	33
圖 18：新型專利申請	33

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景：

因城市化快速推動，使得居住人口需求增加，然而城市建設用地和建築資源是有限的。傳統的低密度單體住宅已經難以適應這樣龐大的住房需求。相比之下，高層和超高層的集合式住宅以其更高的建築密度，能夠在有限城市用地上容納更多的居住單元，從而滿足人口膨脹導致的大規模住房需求。

根據內政部消防署 112 年 1 至 10 月全國火災次數起火原因及火災損失統計表顯示，在這 10 個月的時間內，全國共發生了 14,800 起火災事件(內政部消防署, 2023)。起火原因：火災的起火原因包括縱火、自殺、燈燭、爐火烹調、敬神掃墓祭祖、菸蒂、電氣因素、機械設備、玩火烤火、施工不慎、易燃品自燃、瓦斯漏氣或爆炸、化學物品、燃放爆竹、交通事故、天然災害、遺留火種、因燃燒雜草、垃圾、原因不明和其他未明確列出的原因。當火災發生時，最先出現的現象是煙霧和火焰。這些現象在火災早期的階段就開始顯現，並且在火勢逐漸擴大之前成為人們的警示信號，它可以在火勢擴大之前提供警示信號。

煙霧是火災中最危險的因素之一，偵煙器是一種能夠檢測煙霧存在的裝置，對於火災防護至關重要，能夠在火災初期檢測煙霧並發出警報聲，提供早期警示，讓人們能夠及時採取應對措施，如逃生、報警或滅火，提醒居民避免進入煙霧密集的区域，據內政部消防署歷年火災統計得知，火災常常是在夜間人們睡覺時開始的。偵煙器能喚醒居民並提供關鍵的早期預警，更可以保護睡眠中的人們在煙霧出現時發出聲音警報，讓他們能夠及時醒來並採取行動。

依據消防法及其施行細則與建築技術規則建築建設篇則中，針對無火警自動警報設備之老舊公寓住宅、危險老舊建築物警報設備故障失修之現供人居住場所(如高雄市城中城案)、超過 40 年以上 5 樓以下老舊集合住宅場所、30 年以上建築物、災害搶救不易地區、狹小巷弄地區、舊式眷村、住宅式宮廟或其他經認定具高危險場所(如械彈房、油料儲存庫等)，都有明確規範裝設火災警報器(如偵煙器)或火警自動警報設備。

臺北市立聯合醫院陽明院區胸腔內科醫生蘇一峰曾在個人網站發文指出，在火災現場吸入性中煙傷害比直接燒傷更為常見，許多人因吸入濃煙而死亡。多名中煙傷患者口腔內含大量碳微粒，嚴重者會立即造成呼吸道阻塞而無法呼吸。他們可能在被燒傷前就因吸入過量濃煙而窒息身亡(蘇一峰, 2020)。真實火場通常煙霧瀰漫一片漆黑，目前火災警報器與消防設備尚無法與物聯網結合，更無法即時提供消防人員環境與人員實際現場情況，使得消防人員無法確定位置，也無從判斷是否有生還者，往往需要視現場情況逐一搜索，造成救援人員容易陷入火場危險之中。(柳良義 & 呂易展, 2015)

第二節 研究目的及研究重點：

火災發生時，瞭解到消防人員可能面臨的多重困難與挑戰對於制定有效應急方案至關重要。高溫和高煙環境可能對消防人員的健康和安全構成嚴重威脅，而視覺受限則使得火源、受困者和逃生通道的辨識變得極具挑戰性。建築物結構的不穩定性增加了搜救行動的危險性，而在混亂的現場中，原本明確的路線可能變得模糊不清，阻礙了迅速到達目的地的能力。

同時，救援受困者的工作也因環境惡劣而變得複雜，且消防人員的防護裝備和設備受到一定限制，進一步影響了應對火災的效能。因此，深刻理解這些挑戰的緣由有助於針對性地強化培訓、引進先進技術，並科學協調應急系統，以提高消防人員應對火災困難的整體能力。

目前室內智慧監控技術仍在發展階段，且考慮到室內空間的個人隱私，造成大多數人不願意在室內安裝監視器。毫米波技術的應用在這方面顯得特別有前途，因其頻率範圍介於 30GHz 到 300GHz 之間，具有良好的穿透能力，可以進行非接觸式感測。(尹燕輝, 2007)

在人體感測應用中，常使用紅外或超聲波技術，但其有先天的缺點，感測的精準度較低，且易受到環境的干擾，毫米波雷達融合了微波雷達和光電雷達的優勢，具有體積小、重量輕、抗干擾能力強等特點。(何國偉, 2019)即便在高溫、煙霧環境中，毫米波雷達的一些獨特功能包括可以在幾公分到幾百公尺的距離內工作，它可以在無直接視線的情況下運作(例如，穿過灰泥板或膠合板)，並具有對環境條件(如黑暗)的適應能力，毫米波雷達仍能保持穩定卓越的工作性能，同時更能有效保護個人隱私。

近年來毫米波也應用在生醫領域，如生物醫學成像：藉由毫米波成像系統通過檢測組織中的誘電率和導電率變化，可以實現對人體組織和器官的無創成像；生命體徵監測：通過皮膚表面的微小變動，可以實現心跳、呼吸等生命體徵的遠程監測心跳呼吸監測，適用於新生兒、老年人等的生命體徵監護。(劉柏青 & 邱俊誠, 2009)

本研究提出一創新應用毫米波生理雷達技術結合消防用煙霧感測器，火災發生時，毫米波雷達能夠準確且穩定地提供室內人員的生理狀態、數量以及位置等資訊，這對於消防人員進行救援工作至關重要。其優點在於能夠維持高效工作能力，即便在極端環境下，如高溫或煙霧密布的情況下也不受影響。這使得毫米波雷達成為室內監控和火災檢測的理想選擇，兼顧了技術性能和個人隱私的保護。

目前內政部消防署所推廣市面上販售消防用煙霧感測器主要分為以下兩種主要類型：(賴全裕 & 陳志傑, 2004)

一、光電式煙霧感測器：

（一）遮光式（減光式）：

這種感測器的受光部在無火狀況下能正常收受由發光部射出的光束。當煙霧氣膠微粒進入探測器內（火災狀況），將會遮去部分光源，使得受光部的受光量減少。當遮光量（減光量）達到一定值時，即會發出作動信號，表示檢測到火災。

（二）散光式：

這種感測器的應用主要是基於光照射到微粒時，光會被微粒散射的原理。在平時，受光部不會接受到光源所投射的光，但當有煙微粒進入時，光會被微粒朝四面八方散射。因此，受光部將會接受到光量，當受光量達到一定值時，該感測器就會開始作動(IONIZATION VS PHOTOELECTRIC, 1896) (圖 1)。

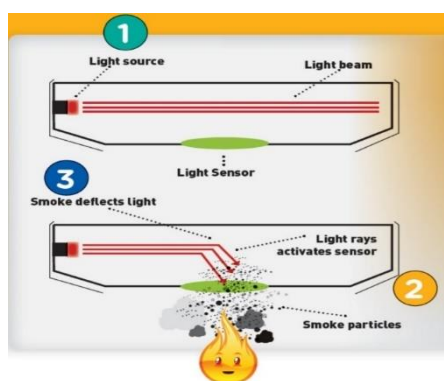


圖 1：光電式煙霧感測器（摘自 National Fire Protection Association）

二、離子式煙霧感測器：

這種感測器使用一離子室和一輻射放射源，用於感測由火災產生的煙霧氣膠微粒。相對於光電式煙霧感測器，離子式煙霧感測器更廣泛地應用，因其對有焰燃燒所產生的微粒有良好的感測效果，並且通常認為其反應效能優於光電式煙霧感測器(IONIZATION VS PHOTOELECTRIC, 1896) (圖 2)。

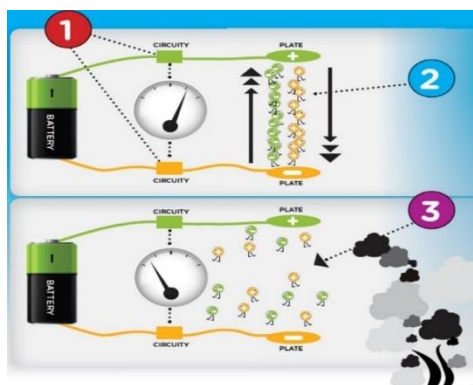


圖 2：離子式煙霧感測器（摘自 National Fire Protection Association）

目前煙霧感測器裝置運作情況為當煙霧濃度達到一定程度時，煙霧感測器會發出響鬧並發送信號給消防授信系統，用來進行監控。當某個防火區域發生火警時，該防火區域的煙霧感測器會將信號傳送給授信總機，由授信總機發出火警和啟動相應的警報或滅火裝置，授信總機本身通常不具備知道防火區域內人員及其情況的功能。但通過在消防系統中結合其他的監控子系統或裝置，可以使授信總機獲取更多防火區域的相關資訊。常見可能會結合視頻監控系統，將授信總機連接到防火區域的監控攝像頭，可以實時查看該區域的人員及景象。或是使用紅外熱成像技術，可以檢測區域內人員的位置、熱能分布和估算人數。

然而這些都僅能檢測區域內人員位置或人員數量，而火災發生時經常發生有人員失蹤或受困，消防人員需進行全面搜救，並在混亂的環境中確保每一個區域都被仔細檢查，但火災中產生的濃煙可能含有有毒氣體，使得能見度極差且呼吸變得困難，火災也可能導致建築物結構變得不穩定，存在崩塌的風險，使得消防人員在搜救時需謹慎考慮結構安全，搜救過程中，消防人員攜帶的設備可能受到重量和體積的限制，這可能影響到他們的機動性和操作效率，增加了搜救的困難度，且無法有效瞭解那個區域有實際需要被救援的受困人員。

從相關文獻探討中可得到一個結論，現有的煙霧感測器都僅具備感測之功用，若結合生理雷達特性的生命體感測（例如生理雷達或其他生命跡象感測技術），能夠即時監測人體的存在和移動，提供準確的位置資訊。這有助於消防人員迅速確定火災中的人員位置，並進行有效的搜救。也可以感測到人體的生理狀態，如呼吸頻率、心跳等。這對評估受困者的健康狀況提供了寶貴資訊，有助於優先處理需要迅速救援的案例。透過生理雷達感測，可以區分出人員和其他物體，有助於排除虛警，確保搜救工作的精確性。即時的生命體感測能夠在火災現場提供實時資訊，使得消防人員能夠更迅速、精確地定位受困者，提高搜救效率。這應用有助於提升搜救工作的安全性，因為消防人員可以更精準地了解火災現場的狀況，減少不必要的風險。同時讓消防指揮人員可以透過遠程方式監控火災現場的情況，有助於制定更有效的搜救策略。

在沒有火災的情況下，結合生理雷達的煙霧感測器也能持續不間斷地提供建築物內人員的即時位置、活動情況與收集生理數據，如心率、呼吸等，有助於實時監測建築物內人員的健康狀態。這對於醫療機構、養老院等場所提供了寶貴的健康監控手段，這有助於進行人員健康安全監控。（林怡彰，2020）（吳世琳、王惟溫，2014）

根據歐洲電信標準協會（European Telecommunications Standards Institute, ETSI）之定義，IoT 可依照不同的工作內容劃分為感知層、網路層及應用層（圖 3）。結合生理雷達的煙霧感測器可以與物聯網技術相結合，實現智能化和遠程連接的新功能：通過 WiFi、4G、5G 等網路模組實現與物聯網/雲平台的連接，使得感測器可以上傳實時的環境情況和生理數據。物聯網平台後台則可以通過大數據和 AI 算法對資訊進行

深入分析，實現多感測器協作和統一智能化決策。物聯網平台還可以將數據和警報推送至防火監控中心、消防手機 App、可穿戴設備等終端。實現遠程監測和處置。結合區域的安防系統，可以自動解鎖出口、疏散人群，並導航至最佳逃生路徑。

基於物聯網和人工智慧技術，生理雷達結合感可以進一步朝著智能化、網路化的方向發展，大大增強整個消防救援系統的響應速度與效能。總體而言，結合生理雷達的煙霧感測器在為火災搜索或在非緊急情況下具有重要的應用價值，提供了更全面、即時且安全的解決方案，能夠提高救援效率，減少搜救時間，同時保障消防人員和被救援者的安全。(張志勇、陳正昌，2014)

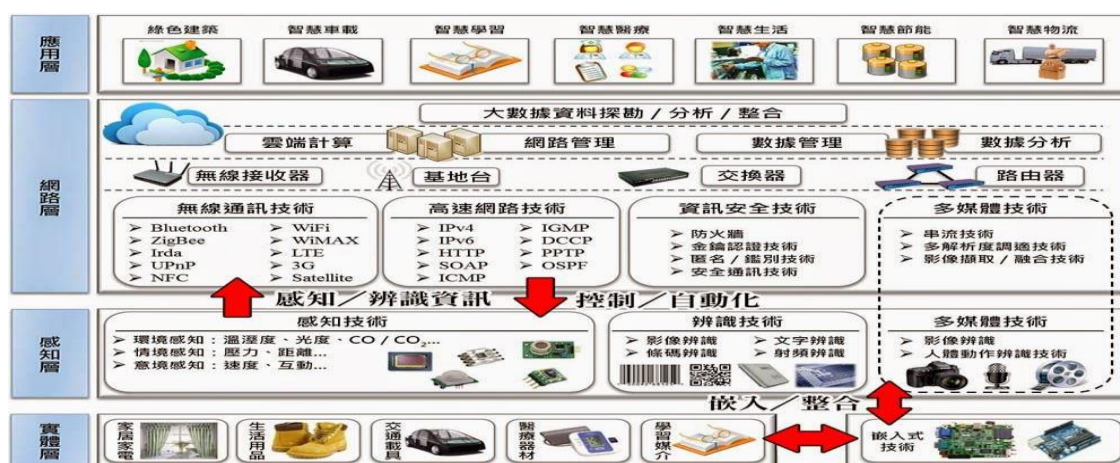


圖 3：IoT 架構及關鍵技術（摘自科學月刊 2014 年 534 期）

第三節 研究架構

本研究主要系統架構(如圖 4)可歸納出五大區塊模組，分別為生理雷達感測模組、溫度感測模組、微處理機模組、火焰感測模組與煙霧感測模組，並藉由 Wi-Fi 提供無線網路連接，採用 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 通訊協議，利用 MQTT 通訊協定具發布 (Publish) 訊息到特定的主題(Topic)與訂閱 (Subscribe) 特定主題以接收來自設備裝置的方式，將感測器收集的即時數據、狀態更新或其他訊息通過 MQTT 發布到相應的主題，使其可以通過 MQTT 訂閱接收感測器設備數據的即時資訊。(杜晉瑋, 2021)

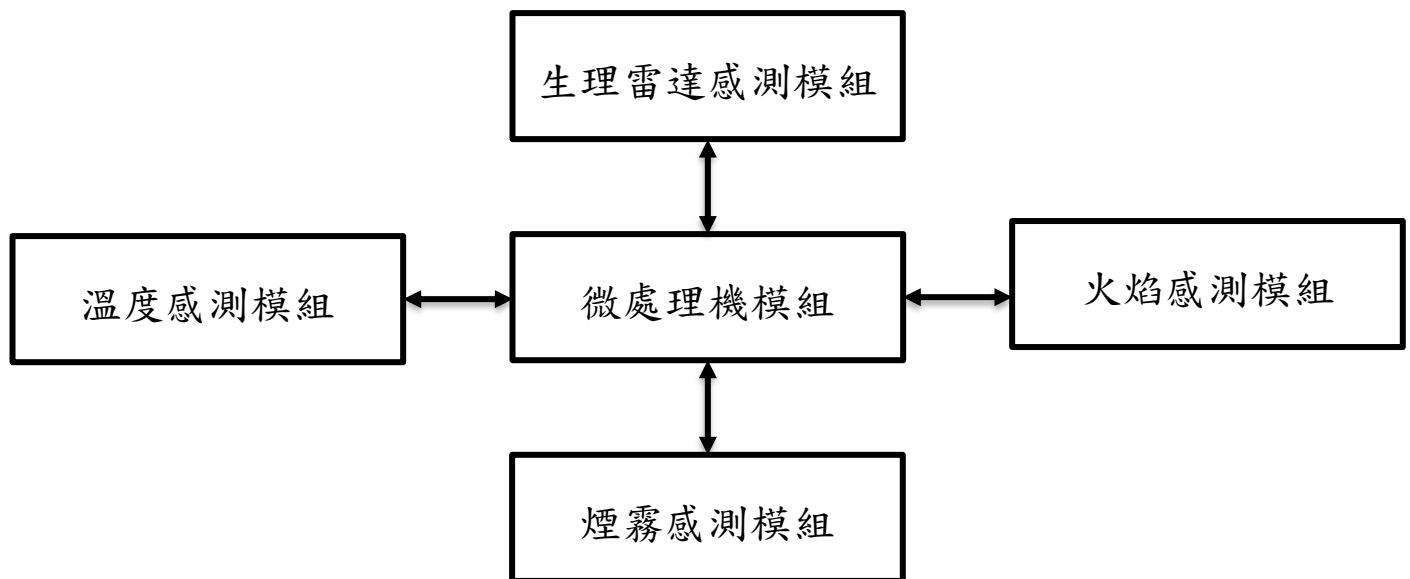


圖 4：系統架構

首先針對生理雷達感測頻段進行評估與分析，生理雷達是一種使用無線電波來感測和監測生物體（通常是人體）的技術。生理雷達通常操作在特定的無線電頻段，這些頻段通常位於毫米波或微波範圍，具體的頻段評估可能取決於應用需求和技術實現。(林宜賢, 2022)

目前常見的生理雷達頻段有下列四種：

一、毫米波頻段（30GHz - 300 GHz）：

優點：高頻率的毫米波能夠提供高解析度，對生體組織的穿透性較佳，一定程度上能夠穿透雲層、霧氣和一些固體物體。

應用：用於高解析度的生理特徵提取，如呼吸、心跳、運動檢測等。

二、微波頻段（1 GHz - 30 GHz）：

優點：微波能夠在某些程度上穿透固體物體，並對生體組織產生一定程度的穿透。

應用：生體運動監測、睡眠監測等。

三、射頻頻段（300 MHz - 1 GHz）：

優點：射頻在穿透性和解析度之間取得了平衡。

應用：人體活動監測、呼吸檢測等。

具體的應用需求和技術限制會決定選擇特定頻段的生理雷達。不同的頻段具有不同的特性，因此在特定應用情境下選擇合適的頻段是重要的。此外，考慮到身體安全和隱私等因素，使用這類技術時需要嚴格遵從相關的法律和標準。

微處理機模組採用 ESP32 開發版，ESP32 本身就是一個強大的微處理機模組，具有內置的 Wi-Fi 和藍牙功能。可以利用 ESP32 的處理能力和連接性來控制和監測感測器模組。結合生理雷達感測模組、溫度感測模組、微處理機模組、火焰感測模組和煙霧感測等模組，並使用 Wi-Fi 連接 MQTT 的智能消防裝置開發，系統流程圖(如圖 5)。(鄭妃伶，2023)

本研究將著重在創新煙霧感測器結合生理雷達感測監控，採 Arduino IDE 編寫程式碼以初始化和操作每個感測模組。這包括初始化模組、讀取感測器數據、進行數據處理和控制等。將感測器數據通過 MQTT 協議發布到 MQTT 代理。將感測器數據封裝為 MQTT 消息並發布到特定的主題。可以使用不同的主題區分不同的感測器數據，進行生理雷達感測模組和煙霧感測等模組數據的整合和分析，將這些可以作為火災檢測的關鍵數據整合在一起，可以提供更全面的環境監測和人體健康監測。

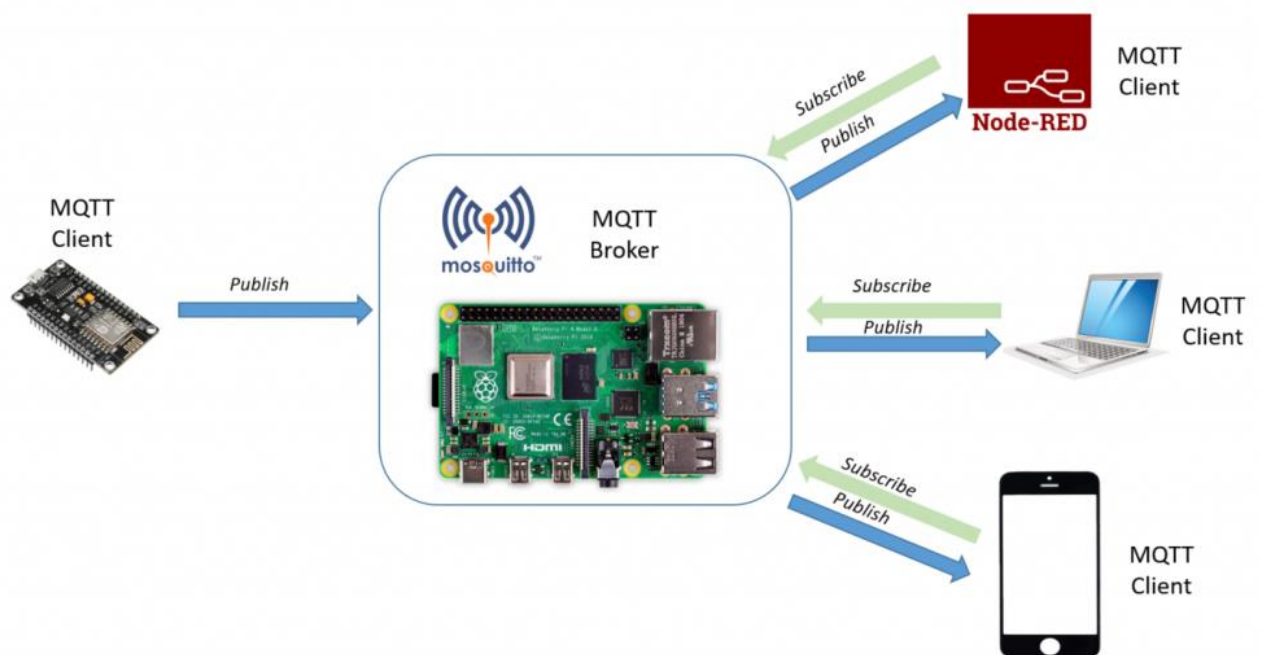


圖 5：系統流程圖

第四節 執行流程

一、實驗需求分析：

確定智能消防裝置的功能需求，這包括煙霧感測、生理雷達感測和監控功能等功能。確定想要監測的生理指標，例如心率、呼吸頻率等。考慮系統的可靠性、準確性和實時性要求。

二、硬體選擇：

根據需求，選擇適合的煙霧感測器和生理雷達感測器。確保這些硬體組件與您的開發平台（例如ESP32 開發板）兼容並具有所需的功能。

三、軟體開發：

開發相應的軟體程式來控制和監測硬體組件。使用適當的開發工具和程式庫，設定和初始化所需的連接（如 Wi-Fi 和 MQTT）。實現數據讀取、處理和警報觸發的邏輯。您需要使用相應的程式庫或演算法來處理和分析生理雷達感測器和煙霧感測器的數據，以獲取生理指標和檢測煙霧。

四、異常檢測和警報：

根據數據處理的結果，檢測異常情況，例如高溫、火災或煙霧的存在。當檢測到異常情況時，觸發警報或通知。您可以使用 MQTT 協議將警報信息發送到外部系統或移動設備，以及通過聲音、燈光或其他方式在裝置本身上發出警報。

五、監控和遠程控制：

您可以使用 MQTT 協議和適當的用戶界面來實現對智能消防裝置的監控和遠程控制。這可以通過移動設備的應用程序或網頁界面進行。您可以查看感測器數據、設置參數、接收警報通知等。

六、測試和驗證：

進行全面的測試和驗證，確保智能消防裝置的功能和性能符合要求。進行模擬測試和現場測試，確保準確性、可靠性和穩定性。橫向擴充和結合多種系統可以增強智能消防裝置的功能和性能，配合不同頻段的生理雷達可以提供更全面和準確的生理監測。

第二章 文獻探討

一、生醫雷達技術的應用與進展

生醫雷達技術已廣泛應用於無接觸式健康監測，特別是心跳與呼吸頻率的遠程偵測。Zhao 等人(Zhao, 2019)的研究指出，毫米波和微波雷達技術可在日常環境中精確追蹤生命體徵資訊，如心跳與呼吸，且具有高穿透力，適合在火災現場等高危險區域使用。此外，生醫雷達在黑暗、濃煙或障礙物環境中仍能穩定運作，適合救援應用(Li, 2021)。這項技術不僅適用於消防救援，也在老年人和慢性病患者的遠端監護中展現了應用價值。

二、毫米波與微波雷達技術應用

(一) 概述：

毫米波與微波雷達具有高穿透性和解析度，適合用於人體生理監測。這些技術可穿透薄障礙物或輕微煙霧，且不受光線影響，在火災救援中具有顯著優勢。

(二) 應用：

毫米波雷達通常用於監測心跳和呼吸，甚至可在低光或無光的環境下穩定偵測，適合應用於消防救援場景。例如，雷達可透過偵測受困人員的心跳和呼吸頻率，為救援人員提供準確定位。

三、自我注入鎖定式 (SIL) 雷達

(一) 概述：

自我注入鎖定式 (SIL) 雷達技術降低了功耗，並提升了對小型生理訊號的靈敏度。這種技術不僅適合用於智慧消防中的生命體徵監測，還適合納入智慧家庭或穿戴裝置中。

(二) 發展動向：

SIL 雷達具備低功耗、低成本的特點，適合智慧型裝置長時間運作，進而實現全天候的健康監測。這項技術未來可能成為智慧建築和消防監測的核心組件之一。

四、多輸入多輸出 (MIMO) 雷達

(一) 技術優勢：

多輸入多輸出 (MIMO) 雷達技術通過多個發射和接收天線，能提供更精細的分辨率和靈敏度。MIMO 技術可進行高精度的生命體徵監測，且能在複雜環境中有效消除干擾。

（二）應用場景：

MIMO 雷達常應用於大空間場所的生理監測，例如大型倉儲或辦公建築中的人員生命監測，提升了消防救援的即時性和精確性。

五、都普勒雷達技術

（一）概述：

都普勒雷達透過偵測反射訊號的頻率偏移，能即時監測心跳和呼吸等細微動作。這項技術在煙霧瀰漫的環境中仍能提供穩定訊號，適合用於火災現場的生理監測。

（二）最新進展：

研究發現，都普勒雷達能結合邊緣計算技術進行即時數據處理，並快速識別生命跡象。這項技術在智慧建築中的應用越來越多，用於無接觸式健康監測和火災救援。

六、雷達與人工智慧的結合

（一）趨勢：

人工智慧的發展使雷達數據的處理與分析更加智能化。透過 AI 分析，可以從雷達數據中自動識別生命體徵模式，進一步提高偵測精確度和實時性。

（二）未來應用：

AI 與雷達的結合將使智慧建築的健康管理和消防預警更為智能化。例如，AI 可自動過濾噪音訊號，提升系統對生命跡象的靈敏度，減少誤報率。

隨著毫米波、MIMO、都普勒及 SIL 等雷達技術的成熟，生理雷達的應用領域不斷拓寬。這些技術在智慧建築防火與健康監測中的價值逐漸顯現，尤其在大型公共場所、醫療環境、智慧住宅和消防救援等場景具有廣泛應用潛力。未來，隨著 AI 和物聯網技術的進一步結合，生理雷達的應用效果和覆蓋範圍將持續提升。

七、煙霧偵測技術的演進

傳統的火災偵測技術依賴於光電或離子煙霧感測器。Shen 等人的研究指出(Shen, 2020)，光電式煙霧感測器對慢速陰燃煙霧更敏感，而離子式煙霧感測器對快速燃燒的煙霧靈敏度更高。近年來，結合煙霧、溫度及二氧化碳濃度等多參數的偵測器應運而生，這些新型設備能有效降低誤報率，提高火災偵測準確性(Li, 2021)。多參數偵測系統的演進，使得火災偵測不再依賴單一參數，而是多維度綜合判斷火災風險。

煙霧偵測技術隨著智慧建築與火災防護需求的增長而逐步演進，從傳統的單一探測模式發展至多功能、智能化的探測系統，並在不同建築類型的應用中展現出差異化的技

術需求。現階段的國外研究表明，智慧型煙霧偵測技術主要集中於「火災煙霧探測技術」和「火災影像探測技術」兩個方向。(鄭紹材 et al., 2012)

(一) 傳統煙霧探測技術

最早的煙霧探測技術主要包括光電式和離子式煙霧偵測器。光電式偵測器利用光源與光電傳感器間的光遮光或散射原理來偵測煙霧，適合陰燃火災環境；而離子式偵測器則基於離子化氣體流動的變化，適用於火勢快速燃燒的場景。雖然這些傳統技術已被廣泛應用，但在準確性和探測範圍上有一定限制，難以應對大型或複雜建築中的早期火災預警需求。

(二) 智慧型煙霧探測技術

隨著智慧建築和物聯網技術的普及，國外在煙霧偵測技術的研發上呈現出多功能和智能化的發展趨勢。現代智慧型煙霧偵測技術往往結合多種感測器，包括溫度、二氧化碳、濕度和光線強度等，形成一套綜合性的多感測器系統。這樣的系統能夠在早期火災階段綜合分析各種數據，減少誤報並提高偵測準確率。尤其在大型購物中心、體育場館等人員密集場所以及高科技廠房等高風險區域，多感測器融合技術顯得尤為重要。

智慧型煙霧偵測技術在不同建築中的應用需求

- (一) 根據火災在不同建築中的特性，智慧型煙霧偵測技術的應用需求有所不同。例如：超高層建築：由於其結構的高度和複雜性，需要快速響應並精確定位火源的技術。
- (二) 體育館和大型購物中心：這些場所人員密集且空間開闊，煙霧和影像偵測技術可協助在早期發現火災並引導人員疏散。
- (三) 高科技廠房：具有大量高價值設備和材料，火災風險高，需配置多感測器系統以實現早期預警。
- (四) 地下街與車站設施：由於空間封閉，需結合影像探測與煙霧感測，並具備優良的通風控制以抑制煙霧蔓延。

智慧型煙霧偵測技術的發展方向主要在於提升探測準確度和降低誤報率。未來可能會更多地結合人工智慧、邊緣計算和大數據分析技術，使得系統能即時分析和處理大量數據，進而形成更加靈敏且智能化的火災監測方案。隨著技術不斷演進，這些智慧型探測技術將在不同建築場景中實現更高效的火災預防和管理。

八、多感測器系統的集成應用

在智慧消防系統中，多感測器技術已逐漸普及。Sun 等人(Sun, 2021)的研究表明，多感測器技術可將溫度、煙霧和二氧化碳數據整合進行綜合分析，提升火災偵測的準確

度。研究進一步指出，結合生醫雷達技術的多感測系統可精確偵測生命跡象，快速確定受困者的位置，對救援行動的即時性和有效性具有極大幫助。

在智慧建築與消防系統中，多感測器集成技術已成為關鍵，能有效提升火災偵測的準確性和效率。傳統單一感測器系統因功能單一，常在應用中遇到準確度不足或誤報率較高的問題，而多感測器系統通過結合多種環境和生命感測數據，形成多維度的火災探測方案，適用於各類大型建築、公共空間及高風險場所。

（一）多感測器集成的組成

多感測器系統通常包括以下主要組件：

1. 煙霧感測器：偵測空氣中的煙霧濃度，能及時捕捉火災初期的煙霧產生現象。
2. 溫度感測器：檢測周圍溫度變化，尤其在高溫快速上升時發出警報。
3. 二氧化碳感測器：火災過程中二氧化碳濃度快速上升，該感測器可以作為火災早期探測的重要輔助工具。
4. 生理雷達：可監測空間中人員的心跳和呼吸，用於定位受困人員的生命跡象。
5. 影像感測器：透過攝像頭進行環境影像監控，配合影像分析技術，可識別火光、煙霧等火災徵兆。

（二）數據融合與判斷機制

多感測器系統的優勢在於能夠綜合分析多個感測器數據，實現火災情況的綜合判斷。當系統同時監測到煙霧上升、溫度異常和二氧化碳濃度增高時，數據融合機制會將這些訊號綜合評估為火災風險，而非單一信號的誤報。數據融合技術的引入有效減少了誤報情況，提高了火災偵測的準確性。

（三）實時監控與邊緣計算應用

多感測器系統經常搭配邊緣計算技術，使數據在現場進行即時處理，並在火災初期快速作出警報決策。邊緣計算能在減少數據傳輸延遲的同時，提升系統對突發情況的響應速度，特別適用於人員密集的高風險場所，如購物中心、體育館、地下街等。

（四）智慧消防與自動化應用

多感測器系統可以實現智慧消防的自動化管理。系統可以在偵測到火災風險時，自動啟動疏散指引、噴灑滅火裝置並通知救援人員，避免人員受困。對於智慧建築而言，多感測器系統能形成火災發生前後的綜合應對方案，確保

建築空間的消防安全。

（五）不同建築類型的應用需求

針對不同建築環境，多感測器系統在組成上會有所差異。例如：

1. 超高層建築：需要高靈敏度的溫度與煙霧偵測，並結合人員定位技術確保疏散順利。
2. 體育館和大型商場：需配置影像和煙霧偵測技術，快速定位火源並提供疏散指示。
3. 高科技廠房：需使用多感測器進行全面監控，以保護高價值設備並在火災發生初期立即反應。

多感測器系統的集成應用在智慧消防領域展現了顯著的優勢。通過多感測器數據融合，系統能提供精準的火災探測，並在不同建築環境中實現針對性的防火方案，增強消防反應速度和應對效果，為智慧建築的安全管理提供強大的技術支撐。

九、無線傳輸與物聯網在智慧消防中的應用

隨著無線傳輸技術的進步，Wi-Fi、4G 和 5G 技術在智慧消防中的應用越來越多。Chen 等人(Chen, 2020)的研究指出，無線傳輸技術可在火災發生時即時將數據傳送至中央控制系統，使救援人員能遠程掌握現場狀況。Chen 等人(Chen, 2020)探討了物聯網（IoT）技術在智能消防中的應用，IoT 技術使得消防裝置可與雲端平台相連，實現遠程監控與數據分析功能，並可進一步支援大數據分析和人工智慧應用。

無線傳輸技術和物聯網（IoT）技術的發展，使智慧消防系統在數據收集、傳輸和即時監控方面取得了巨大的進展。通過這些技術，智慧消防不僅能夠實現現場數據的快速傳輸和遠端監控，還能提供實時的火災預警和指導，提升消防行動的精確性與效率。

（一）無線傳輸技術的應用

無線傳輸技術（如 Wi-Fi、4G、5G 等）在智慧消防系統中扮演了關鍵角色。通過無線網絡，消防設備能夠將現場數據即時傳輸至中央控制系統或遠端監控平台，以便消防人員掌握現場情況。

1. Wi-Fi：適用於建築內部的無線連接，提供穩定的數據傳輸，特別適用於固定式的消防設備數據傳輸。
2. 4G/5G：高頻寬和低延遲的特性，使得數據傳輸的速度更快、覆蓋範圍更廣，適合大型倉儲或戶外設施的即時數據傳輸，讓消防人員能在移動狀態下遠端監控現場。
3. 藍牙和 Zigbee：用於短距離的無線通訊，適合在局部區域進行感測器之間

的數據交換，例如偵測設備的組網和協同運作。

（二）物聯網（IoT）技術在智慧消防中的整合

物聯網技術可以將各類消防設備、感測器和數據分析系統連接成一個整體，形成智慧消防網絡。這些設備透過 IoT 平台進行數據傳輸和管理，具備即時監控、數據存儲和分析能力。

1. 數據即時監控：IoT 技術使各類感測器可以將火災現場的溫度、煙霧、二氧化碳濃度等數據即時上傳至中央控制系統，以便及時判斷火災風險。
2. 智能化數據分析：IoT 平台結合人工智慧（AI）算法進行數據處理和模式識別，能夠自動檢測火災徵兆，進而提供早期預警。
3. 遠端管理與控制：物聯網技術允許管理者透過遠端設備，如手機或電腦，隨時查看建築消防系統的運行情況，並能在緊急情況下進行遠端控制或指揮救援行動。

（三）智慧消防中的遠端監控與自動化管理

智慧消防系統中的物聯網和無線傳輸技術支持遠端監控和自動化管理。管理者可以遠端查看系統狀態，並在必要時啟動消防設施。

1. 遠端監控：IoT 設備將數據傳輸至中央控制系統或雲端平台，消防人員可以透過移動設備即時查看現場情況。
2. 自動化反應：系統可以自動進行火災預警、啟動滅火設備、開啟緊急通道等，無需人員干預，確保第一時間的火災應對。

（四）不同建築環境的應用需求

不同建築對智慧消防的需求有所差異，無線傳輸和 IoT 技術在各場景中有不同應用：

1. 高層建築：需要穩定的無線網絡，便於樓層之間的數據傳輸，並在中央控制室集中管理。
2. 大型倉儲和工業廠房：需要廣泛覆蓋的無線網絡，以便設備可以互相連結，並在火災初期檢測異常。
3. 地下設施和購物中心：物聯網可以提供即時監控，結合影像監控系統進行智能化分析，減少火災誤報。

無線傳輸與物聯網技術的結合，為智慧消防系統帶來了前所未有的即時監控和自動化應用的可能性。通過這些技術，智慧消防系統能夠高效應對火災風險，提供更為精確的早期預警和消防指引，提升建築空間的安全管理能力，並有效降低火災帶來的風險與

損失。

十、大數據與人工智能技術在健康監測中的應用

大數據與人工智能技術的結合，使得智慧消防與健康監測能夠進一步優化。Wu 等人 (Wu, 2021) 指出，透過大數據分析火災事件歷史數據，可以準確識別出火災風險趨勢，進行更精確的早期預警。Liu 和 Zhang (Liu, 2021) 研究了 AI 技術在生命體徵監測中的應用，發現通過 AI 可以對健康數據進行個性化分析，提供適合老年人和慢性病患者健康建議，有助於提升健康監測的精確度和即時性。

（一）數據收集與管理：

大數據技術可以從多種感測器（如生理雷達、心率監測器、血氧感測器等）收集大量的健康數據。這些數據包括心率、血壓、呼吸率等生命體徵，形成多維度的健康監測資料。

（二）數據整合：

大數據技術能整合來自不同來源的健康數據，建立用戶的健康檔案。這種整合方式可以提供完整的健康數據視圖，方便及時跟蹤和記錄健康狀況。

（三）趨勢分析與異常監測：

通過大數據分析，系統可以識別用戶健康數據的變化趨勢，並及時檢測異常狀況。例如，系統能夠及早發現心率或呼吸異常，進而發出警報提醒用戶及時就醫。

大數據與人工智能技術的結合為智慧建築和家庭的健康監測帶來了革命性的改變。通過這些技術，系統能夠實現高精度的數據分析，提供個性化的健康建議，並幫助預測潛在的健康風險。隨著 AI 技術和數據處理能力的不斷提升，未來的健康監測系統將更加智能和自動化，提供全天候的健康管理和安全保障。

十一、生醫雷達結合物聯網技術的智慧消防系統

Liao 等人 (Liao, 2021) 的研究提出了生醫雷達與物聯網技術結合在智慧消防中的應用。研究顯示，這種集成系統能在火災場景中實時提供受困者的生命體徵數據，消防人員可透過中央系統遠程掌握現場情況，提升救援效率。同時，這些數據可以上傳至雲端進行長期儲存與分析，未來可作為大數據基礎，用於預測潛在火災風險，並提供即時應對建議。

生醫雷達技術結合物聯網（IoT）技術應用於智慧消防系統，具有高效、即時和智能化的特點。生醫雷達可透過毫米波或微波無接觸地偵測生命體徵，例如心跳和呼吸頻率，並與物聯網結合實現遠端監控、數據共享和智能判斷，為消防系統提供全面的數據支持與實時決策功能。

（一）生醫雷達在智慧消防中的角色

1. 生命跡象監測：生醫雷達能偵測火災現場中受困人員的心跳和呼吸，精確判斷生命跡象位置，即使在煙霧瀰漫或視線受阻的情況下也能穩定提供數據，幫助救援人員快速定位。
2. 無接觸偵測：與傳統生命偵測技術不同，生醫雷達不需要直接接觸即可監測生命體徵，適用於高溫、有毒氣體或高濃煙等危險環境，有助於減少救援人員的風險。

（二）物聯網在智慧消防系統中的應用

數據即時傳輸：物聯網技術使得生醫雷達收集的數據可以即時傳輸到中央控制系統，提供救援指揮中心即時的受困者生命跡象、火災蔓延情況等多維度資訊。

1. 設備聯網與協同運作：IoT 將煙霧、溫度、二氧化碳濃度等感測器聯網，並整合生醫雷達的數據，形成多感測器協同運作的智慧消防系統，使得系統能提供綜合的火災情況判斷。
2. 遠端監控與控制：消防人員可通過遠端監控系統查看現場數據並遠端操作，如控制通風設備、開啟緊急通道等，提高救援效率。

3. 未來發展與挑戰

- (1) 提升設備精度與可靠性：生醫雷達在火災現場中需要保持高精度，未來需提升對生命體徵微弱變化的靈敏度，特別是當受困人員處於低活動狀態時。
- (2) 數據安全與隱私：由於涉及敏感的生命體徵數據，智慧消防系統的數據安全和隱私保護需要得到保障，以防止數據洩漏或未經授權的數據訪問。
- (3) 標準化和互操作性：智慧消防系統需要整合多種設備，建立統一的標準化協議，以確保不同設備之間的數據交換和協同運作。

生醫雷達結合物聯網技術的智慧消防系統，通過即時生命體徵監測、多感測器協同、智能分析和遠端控制，使得火災救援更加高效和安全。隨著物聯網和生醫雷達技術的進一步成熟，智慧消防系統將在大型建築、地下設施和家庭應用中展現更大的潛力，有望成為火災預警和救援的關鍵技術。

十二、智能家居中的健康監測系統

智能家居中的健康監測需求不斷增長，特別是在長期照護應用領域。Smith 等人 (Smith, 2021) 指出，將生醫雷達技術應用於智能家居中，能夠提供心跳、呼吸等無接觸式生命體徵監測，並自動記錄至健康管理平台。IoT 技術的應用可使家屬和護理人員遠程監控用戶的健康情況，特別適合老年人和慢性病患者的日常護理需求。這類系統在

異常事件發生時可以自動推送通知，提供即時反應和護理支持。

隨著物聯網（IoT）和人工智能（AI）的發展，健康監測系統逐漸成為智能家居的核心應用之一。這些系統透過整合多種生理數據感測器和無線通信技術，能在日常生活中持續監控用戶的健康狀況，特別適合於老年人或慢性病患者的長期健康管理。智能家居中的健康監測系統不僅提供即時健康數據，還能在異常狀況發生時主動發出警報，提高家居生活的安全性和健康保障。

（一）健康監測系統的主要組成

- 1.生理感測器：包括心率、血壓、體溫、血氧等監測設備，能即時監測用戶的生命體徵，提供日常健康數據。
- 2.生醫雷達：生醫雷達技術可以無接觸地監測呼吸和心跳，特別適合用於臥室或客廳等場景，在用戶休息時提供無干擾的健康監測。
- 3.活動監測器：如步數計和睡眠追蹤器，能監測用戶的日常活動量和睡眠質量，形成全面的健康數據記錄。
- 4.環境感測器：監測室內溫度、濕度、空氣質量等環境數據，幫助系統判斷是否有影響健康的環境因子，並提供改善建議。

（二）人工智能與大數據在健康監測中的應用

- 1.智能數據分析：AI 技術可以分析用戶的日常健康數據，識別健康趨勢和潛在問題。例如，透過分析長期的心率和血壓數據，AI 可以提醒用戶注意心血管健康。
- 2.個性化健康建議：AI 系統基於用戶的個人健康數據提供個性化建議，幫助用戶調整生活習慣和健康管理。例如，當監測到運動量不足時，系統可以建議用戶增加日常活動。
- 3.異常預警：大數據技術能夠即時檢測生命體徵的異常波動，並透過 AI 分析確認異常情況，及時發出警報並通知家屬或醫療人員，防止健康狀況惡化。

（三）智能健康監測系統的功能

- 1.自動化健康管理：智能家居中的健康監測系統可以自動生成健康報告，提供詳細的健康數據趨勢。這些報告可用於自我檢視或作為醫療就診時的參考。
- 2.遠端監控：家屬和醫療人員可以透過智能家居系統遠端查看用戶的健康狀況。這對於住在遠處的家屬，或需要長期監護的患者，特別實用。
- 3.異常情況處理：當監測到異常生命體徵（如急速心跳上升或呼吸變緩），系統會自動通知相關人員，並可聯動家庭中的其他智能設備，如開啟燈光、觸發警報

或撥打急救電話。

（四）應用場景與適用人群

1. 老年人護理：針對行動不便或需長期照護的老年人，智能健康監測系統能實現 24 小時無間斷的健康數據收集，並在異常情況下快速發出警示。
2. 慢性病患者：對於有慢性病（如高血壓、糖尿病）的患者，系統可長期監控其生命體徵，並提供健康建議以減少疾病惡化的風險。
3. 一般家庭健康管理：智能家居健康監測系統不僅適用於有特別需求的群體，也可作為一般家庭的健康管理工具，提供基礎的健康監測功能。

（五）健康監測系統的挑戰與未來發展

1. 數據隱私與安全：由於健康數據的敏感性，智能家居健康監測系統需確保數據隱私與安全。採取數據加密和訪問控制等措施，以避免未經授權的數據訪問。
2. 準確性與穩定性：健康監測系統對數據準確性和穩定性要求高，尤其是在需要即時反應的緊急情況下。提升感測器的精度和系統的穩定性將是未來的重點。
3. 智能化發展：未來健康監測系統將更加智能，結合更多 AI 技術進行數據分析和預測，並實現自動化健康管理，提供更加全面和個性化的健康管理服務。

智能家居中的健康監測系統將健康管理與日常生活深度結合，通過生理數據感測器、AI 分析和物聯網技術，提供即時、準確和便捷的健康監測服務。這些系統不僅能提高用戶的生活品質，還能在緊急情況下及時通知家屬和醫療人員，為家庭健康管理提供可靠的支持。隨著技術的進一步發展，智能家居健康監測系統在精確性、智能化和安全性方面將不斷提升，成為家庭健康管理的重要一環。

第三章 系統實作與介紹

在「應用生理雷達感測之智能消防裝置」的系統實作與介紹中，此系統的實作是基於 Arduino 開發板，結合多種環境與生理感測器，以實現智慧家居中的健康監測和消防預警功能。系統設計旨在透過多感測器數據收集和實時分析，提供火災的早期預警與居住者的健康數據監控。該系統結合了生理雷達、無線連接、多感測模組和智能數據處理技術，以便在火災現場即時偵測生命跡象、環境變化並進行遠端數據傳輸。以下是系統的主要組成模組及其功能介紹：

一、生理雷達感測模組

採用 60GHz 毫米波雷達模組(圖 6)，採用調頻連續波（FMCW）技術，能高精度地同時檢測人體的呼吸率和心率。該模組提供完全私密且安全的環境，不受其他噪聲影響，適用於消費電子、醫療保健和工業應用等領域。

主要特點：

1. 高精度測量：心率精度可達 85%，呼吸率精度可達 90%。
2. 環境適應性強：不受溫度、濕度、噪音、氣流、灰塵、光線等環境因素影響。
3. 隱私保護：無需直接接觸即可進行生命體徵監測，確保用戶隱私。
4. 低功耗設計：適合長期監測應用，對人體無害。
5. 二次開發支持：提供 UART 通訊介面，方便用戶進行二次開發，適應各種場景應用。

雷達模組的檢測區域為水平 80°、垂直 80°的三維扇形，實測距離在 0.4 至 2 米之間。其內建標準算法和板載天線，確保高精度輸出，並支持二次開發，適應各種場景應用。總而言之，60GHz 毫米波雷達模組在非接觸式生命體徵監測領域具有廣泛的應用前景，為智能家居、醫療保健和工業應用提供了高精度、可靠的解決方案。



圖 6：60GHz 毫米波雷達模組

二、多感測模組

功能：整合煙霧、溫度、二氧化碳及火焰感測器等多種環境感測器，以即時監測火災現場的關鍵環境參數。可在火災初期發現異常，發出警報。

技術特點：多感測模組利用數據融合技術減少單一感測器的誤報，提供更精確的火災探測，從而提高系統的靈敏度和準確性。



圖 7：煙霧感測器



圖 8：溫度感測器



圖 9：二氧化碳感測器



圖 10：火焰感測器

多感測模組是智能消防和健康監測系統中的重要組件，通過整合多種類型的感測器，能夠提供更準確、全面的環境和生命體徵數據。該模組的設計目的是結合不同數據源，以實現對火災、健康狀況等的早期預警與精準監控。以下是多感測模組的主要組成和應用特點：

1. 多感測模組的主要組成

(1)煙霧感測器：監測空氣中的煙霧濃度，用於偵測火災初期的煙霧產生。煙霧感測器能在火災早期發出預警，並與其他感測器數據融合，提高警報準確性。

(2)溫度感測器：檢測周圍環境溫度的變化，特別在高溫快速上升時發出警報。此感測器常用於火災監測和異常溫度監控。

(3)二氧化碳（CO₂）感測器：火災發生過程中二氧化碳濃度會迅速升高，二氧化碳感測器可作為火災預警的重要輔助感測器。此外，CO₂感測器也適用於空氣質量的監測。

(4)濕度和空氣品質感測器：監測環境中的濕度和空氣品質參數，適用於智慧家居中的健康監測和消防預警，以保持舒適安全的環境。

2. 多感測器數據融合與智能分析

多感測模組的關鍵在於能夠整合多個感測器數據並進行融合分析。數據融合技術可根據不同感測器的輸出數據進行綜合判斷，以減少單一感測器可能出現的誤報或漏報。例如：

(1)當煙霧感測器和溫度感測器同時檢測到異常情況時，系統會優先發出火災警報。

(2)若生理雷達顯示存在生命體徵而二氧化碳濃度顯著升高，系統可確認場內有受困人員，便於消防人員迅速定位。

3. 多感測模組在智慧消防中的應用

(1)火災早期預警：通過煙霧、溫度和二氧化碳感測器，能夠在火災的早期階段偵測到異常並發出警報，提供寶貴的逃生和滅火時間。

(2)人員定位：生理雷達與其他感測器協同工作，可以檢測火災現場中有無人員存在，並提供生命跡象的實時數據，有助於消防救援。

(3)環境監測：空氣質量和濕度感測器則能提供實時的環境參數數據，確保在火災時及時掌握環境變化。

4. 多感測模組在智能家居健康監測中的應用

(1)日常健康管理：空氣品質、溫度和濕度等感測器可以在日常生活中提供健康指數，如空氣質量、居住環境的舒適度等數據，幫助用戶管理健康。

(2)睡眠和運動監測：生理雷達可以提供用戶的呼吸和心跳數據，適合在家居環境中監測用戶的健康狀況，特別是老年人或慢性病患者。

(3)異常情況預警：多感測模組的數據融合功能可以識別異常情況，並根據健康狀況或環境參數進行即時通知，為用戶提供健康保護。

本系統基於 Arduino 開發板，結合多種環境及生理感測器，包括煙霧、溫度、濕度、二氧化碳和生理雷達等(圖 11)(圖 12)，旨在提供全面的健康數據監控與火災預警功能。系統的硬體組成涵蓋了不同類型的感測器，這些感測器持續收集環境和生命體徵數據，並將數據傳送至 Arduino 控制板進行即時處理與判斷。系統針對各類數據設置了安全範圍閾值，以實現自動監測與風險判斷功能。例如，煙霧感測器負責偵測空氣中的煙霧濃度，當系統偵測到濃度超出設定閾值時，會判定為可能的火災風險；溫度感測器則檢測環境溫度，特別是在高溫上升時即時反應，並與煙霧感測器的數據綜合分析以加強準確性；二氧化碳感測器在火災時能夠迅速檢測 CO₂ 濃度的急劇變化，作為火災預警的輔助依據。生理雷達感測器負責檢測生命體徵數據（如心跳和呼吸），即便在視線受阻或濃煙中也能確認現場是否有受困人員，增強救援定位的效率。

當任何一組感測數據超出安全範圍，系統將立即啟動本地警報裝置，向用戶發出視覺和聽覺警報，幫助用戶快速識別異常情況。例如，若系統偵測到煙霧濃度異常且溫度上升，蜂鳴器會立即觸發警報，便於用戶迅速判斷並採取措施。這樣的本地警報功能讓用戶能夠及時得知異常，並迅速做出反應，以確保家居安全。

為了實現遠端監控，系統還整合了 MQTT 協議，透過 Wi-Fi 模組將感測器數據傳送至 MQTT Broker，再由手機上的 IoT MQTT Panel App 進行即時顯示和管理。系統中的每個感測器都被分配不同的主題（Topic），例如 home/sensor/temperature、home/sensor/smoke 等，以便清楚區分各項數據來源。Arduino 控制板將收集到的每組數據發送至對應的主題，並由 MQTT Broker 進行管理。手機 App 設置了與這些主題相對應的數據面板，讓用戶能夠清晰查看各類數據，例如溫度、濕度、煙霧濃度、二氧化碳濃度和生命體徵等數據，隨時掌握家居的環境狀況。

通過 IoT MQTT Panel App，用戶還可以設置通知警報，一旦某個數據超出安全範圍，App 將會發出推送通知，提醒用戶查看並及時處理異常情況。這一遠端監控功能大大增強了系統的便捷性與實用性，使用戶即便身處異地，也能即時掌握家中的安全狀況並做出應對。此外，若系統支援雙向通訊，用戶亦可通過 App 向 Arduino 系統發送控制指令，以實現遠端控制。例如，在發生火災時，遠端用戶可以操作 App 觸發自動排煙裝置，或遠程開啟緊急疏散照明系統，以提升家居的安全保障。

系統的設計考量了健康與安全兩大需求，提供了即時、準確、且便於管理的數據監控方案，進一步增強了智慧家居的安全性和便利性。隨著 IoT 技術的持續發展，該系統還可以進一步擴展，以支持更多的感測器和更智能的數據分析功能，為住戶提供更全面的智慧生活體驗。

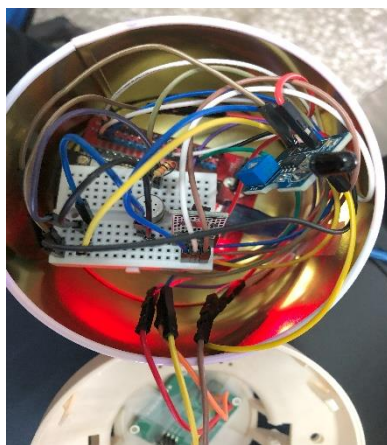


圖 11：成品內部展示 1



圖 12：成品內部展示 2

本系統以 Arduino 開發板為核心，整合了多種環境與生理感測器，包括溫濕度感測器、煙霧感測器、二氧化碳感測器及生理雷達感測器。系統通過 Wi-Fi 連接家庭無線網路(圖 14)，並利用 MQTT 協議實現數據的即時傳輸，使住戶能夠隨時監控家居的環境和健康狀況，並在火災或健康異常情況下即時收到警報通知。

系統執行流程圖如下：

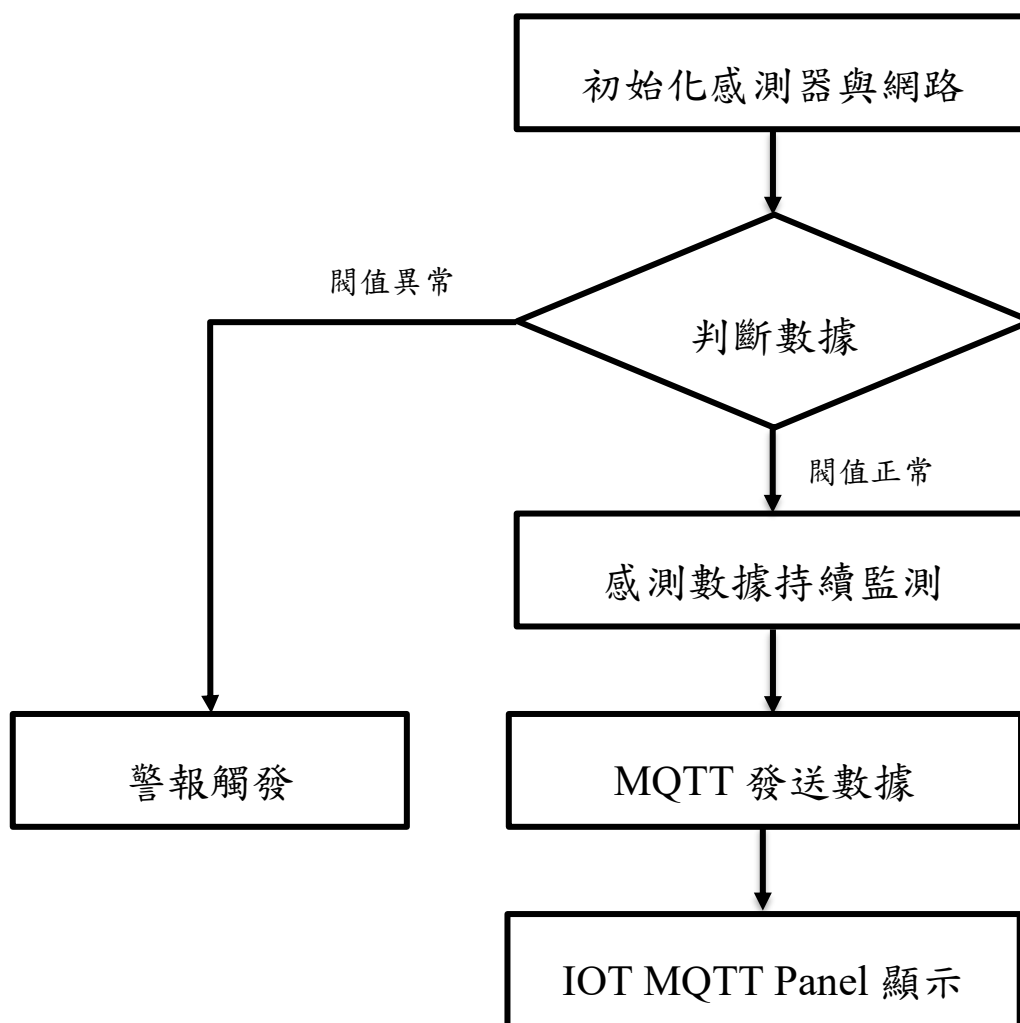


圖 13：系統實行流程圖

一、初始化感測器與網路連接

系統啟動時，Arduino 首先初始化各類感測器，為數據收集做準備，例如溫濕度感測器可即時讀取環境溫度和濕度數據，而煙霧感測器與二氧化碳感測器則監控空氣中的煙霧和 CO₂ 濃度。Arduino 通過 Wi-Fi 模組連接到家庭無線網路，並配置 MQTT 連接以便將數據傳送至遠端伺服器(MQTT Broker)，實現後續的數據傳輸功能。

二、持續數據監測

系統進入持續監測模式，Arduino 每隔固定時間讀取感測器數據，並進行分析。若感測數據顯示環境變化異常，例如溫度、煙霧濃度或二氧化碳濃度超過安全範圍，系統將立即進行綜合判斷，以決定是否啟動預警模式。同時，若生理雷達感測器檢測到生命體徵，則意味著在火災現場可能存在受困人員，系統會強化警報級別，以提升救援定位精確性和反應速度。

三、本地警報觸發

當數據顯示潛在火災風險或健康異常，Arduino 立即觸發本地蜂鳴器，作為視覺和聽覺的即時警報，幫助住戶在第一時間得知異常情況。這種即時反應是基於 Arduino 預先設定的數據閾值來判定的，例如煙霧感測器偵測到濃度超過設定標準，或二氧化碳濃度急劇上升，系統將視此為火災徵兆並立即發出警報。

四、MQTT 數據傳輸至手機 App

系統將數據傳送至 MQTT Broker，並根據每個感測器的類別設定不同的主題 (Topic)，如溫度、濕度、煙霧濃度、二氧化碳濃度和生命體徵數據。這些數據主題會被 IoT MQTT Panel App 訂閱，App 即時顯示各項數據在手機界面上(圖 15)。用戶可以通過 App 查看各感測器的即時數值，並隨時掌握家居環境的變化。



圖 14：成品外部展示



圖 15：IoT MQTT Panel

第四章 系統教學成效

一、效益與對軍事教育改革潛力

(一)、智慧監控系統在軍事訓練中的應用效益

1. 即時監控與風險管理：透過智慧監控系統，指揮官能即時監測士兵的健康狀況、訓練環境和潛在危險因素，例如過熱、中毒氣體或呼吸困難等情況。這些數據幫助指揮官在訓練過程中及早發現健康和 safety 問題，減少士兵受傷或健康受損的風險。
2. 精確數據支持決策：智慧監控系統的數據可以為軍事訓練提供全面的健康與環境監測，並為未來訓練計畫優化提供依據。精確的健康與環境數據使得訓練更具科學性和安全性，提高訓練的準確度與效率。

(二)、軍事教育改革的潛在應用

1. 引入智慧健康監測技術於課程中：軍事教育課程中可引入智慧健康監測技術，使學員了解並使用這些技術來保護自己和同僚的安全。這可以融入訓練科目，如軍事急救、訓練風險評估等，強化學員在應對訓練與實戰中安全風險的能力。
2. 數據驅動的訓練效果評估：智慧監控系統提供的數據可以用來評估軍人身體素質的進步情況、訓練適應性以及對壓力情況的應對表現。數據驅動的評估模式能幫助軍事教育單位科學地調整訓練計劃，提供量身定制的訓練方案。
3. 強化應用技術素養：軍事教育可加入智慧系統操作、數據分析等技術培訓，提升軍人的技術素養。隨著智慧監控技術的普及，具備相關知識的軍人在未來的智能化作戰中將具備更強的適應力和判斷力。

整合生理雷達技術與煙霧感測器預期可提高檢測準確性、更迅速的反應時間以及增強應對能力的潛力。生理雷達能夠檢測到人體存在，與煙霧感測器結合使用，有效降低虛警和誤報，快速檢測並確認火災。這種整合能夠在火災爆發時提供更全面、精確的資訊，協助應急人員更迅速而有效地進行疏散和救援，從而提高火災應對的效率和安全性。

可以利用數據分析和智能化應用，以支持學生的學習和評估。這包括使用學習管理系統、數據分析工具和人工智能技術，以提供個性化的學習體驗和精準的評估結果。同時可以提升安全意識和培養應急能力，強調實踐和實際操作，增加科技素養，以及強化團隊合作和領導能力。這樣的改革有助於使軍事教育更加現代化、實用化，培養出更全面和具備應對災害和危險情況能力的學生。

二、對於參與之工作人員，預期可獲得之訓練

- (一)、這項技術的開發、應用和操作，將使人員獲得對生理雷達和煙霧感測器技術的深入了解和熟練操作能力。這將有助於他們在實際應用場景中更加自信和有

效地使用這些技術。

1. 使用生理雷達結合煙霧感測器的技術，人員將對火災檢測和應急反應有更深入的認識和理解。他們將能夠更快速地識別和回應火災，提高自身和他人的安全意識和能力。
2. 夠在實際應用中瞭解和熟悉這些技術的優勢和限制。他們將有機會處理真實或模擬的火災場景，並實際應用技術以解決問題，從而增強實踐和應用能力。
3. 可能需要承擔領導角色，協調和指導其他人員。這將有助於培養他們的領導能力，包括決策能力、問題解決能力和壓力管理能力。
4. 透過學術論文的發表加強英語寫作與報告口說能力，拓展國際觀與視野。
5. 在軟體方面，參與本研究之工作人員將可使用編碼流程、實驗資料蒐集運算、大數據分析、資料庫架設等相關軟體設計開發之訓練。
6. 瞭解物聯網的整體架構，並將其與工業 4.0、IIoT 和 AIoT 相結合，能夠提升整合能力，應用於智慧工廠、工業領域和智慧化設備中，並帶來創新和競爭優勢。這將有助於推動科技發展，並在數位化時代中實現更高的效率和價值。

三、完成之研究成果及績效

- (一)、參加台灣創新博覽會發明競賽榮獲銅牌。(圖 16)
- (二)、參加 2024 第 11 屆高雄國際發明暨設計展。(圖 17)
- (三)、建立一套生理雷達感測的智能消防裝置系統。(圖 14 圖 15)
- (四)、研究成果申請新型專利 1 份。(圖 18)
- (五)、撰寫完整研究計畫成果報告 1 份。



圖 16：台灣創新博覽會發明競賽



圖 17：2024 第 11 屆高雄國際發明暨設計展

地址：
收件人：

經濟部智慧財產局
自行收納款項收據 收文日期：113年11月08日
NO. 11481066 開立日期：中華民國113年11月11日 113BP005719

繳款人	收入科目	金額	事由	備註
空軍航空技術學院	證照費 許可費	\$1,000 \$1,700	收文文號：1133286809-0 案號：113205803 證書號數：M 年度：1 專利名稱：可偵測煙霧及溫度的裝置	第一聯 收據（交繳款人收執） 供退費或查詢用
合計 新台幣：貳仟柒佰元整				

經手人 黃郁淨 主辦出納 主辦會計 機關長官

05 蔡聖英收件

圖 18：新型專利申請

第五章 結論

針對應用生理雷達感測之智能消防裝置的開發，本研究得出以下結論：

(一)、提升火災救援效率與準確性：生理雷達技術能即時偵測火災現場受困人員的生命體徵（如心跳與呼吸），即便在煙霧濃密或視線受阻的情況下，仍能提供穩定且精確的定位資訊。這一特性顯著提升了消防救援的效率和準確性，幫助救援人員迅速識別並定位受困者，縮短了搜救時間。

(二)、多感測器融合技術的整合優勢：智能消防裝置結合了多感測器技術，包括煙霧、溫度、生理雷達等多重感測器，能夠在火災初期綜合判斷火災風險。這種多重數據源的融合使得系統在火災探測中具有更高的靈敏度和準確度，能夠降低虛警率並提高火災預警的可靠性。

(三)、無線傳輸與物聯網整合應用：透過無線傳輸技術（如 Wi-Fi 或 5G）和物聯網的整合，裝置可將現場數據即時傳輸至中央控制系統或雲端平台，供遠端監控和決策使用。這樣的系統使消防人員無需進入危險區域即可掌握現場情況，提高了消防行動的安全性與效率。

(四)、智慧住宅健康管理的擴展應用：生理雷達技術在日常生活中可用於智慧住宅的健康監測，特別是針對老年人或需要特殊健康照護的用戶。此技術可持續監測用戶的生命體徵，若出現異常即時發出警報，提升了居家安全性並提供了一層健康保護。

綜合來看，應用生理雷達感測的智能消防裝置不僅大幅提升了火災救援的效能，還可在智慧住宅中提供健康管理功能。未來隨著物聯網、大數據與人工智慧技術的進一步發展，此類設備將在智慧消防和居家健康管理中展現出更大的應用潛力。

參考資料

- Chen, Y., Zhang, P., & Liu, R. (2020). Wireless Communication in Smart Firefighting Systems: Advances and Applications. *IEEE Wireless Communications*, 27(3), 70 – 76.
- IONIZATION VS PHOTOELECTRIC. (1896). National Fire Protection Association Retrieved from <https://www.nfpa.org/education-and-research/home-fire-safety/smoke-alarms/ionization-vs-photoelectric?l=820>
- Li, F., & Zhou, Q. (2021). Multi-Sensor Detection Systems for Reducing False Alarms in Fire Safety Applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, 323, 112645.
- Liao, S., Zhang, J., & Yu, C. (2021). Integration of Biometric Radar and IoT for Smart Firefighting Systems. *International Journal of Sensor Networks*, 37(2), 118 – 127.
- Liu, C., & Zhang, F. (2021). Artificial Intelligence in Vital Sign Monitoring: Applications and Challenges. *Healthcare Technology Letters*, 8(4), , 95 – 101.
- Shen, W., Luo, Z., & Ma, X. (2020). Optical and Ionization Smoke Detectors: A Comparative Study for Fire Safety. *Fire Safety Journal*, 109, 103360.
- Smith, T., Johnson, M., & Davis, A. (2021). Non-Contact Health Monitoring in Smart Homes Using Radar Technology. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 67(4), 359 – 366.
- Sun, J., Wang, M., & Yang, H. (2021). Enhanced Fire Detection Accuracy with Multi-Sensor Fusion. *IEEE Sensors Journal*, 21(10), 11845 – 11852.
- Wu, J., Li, K., & Zhou, Y. (2021). *Big Data in Fire Risk Assessment: Prediction Models for Early Warning*. Safety Science,
- Zhao, Y., Chen, X., & He, Q. (2019). *Application of Millimeter-Wave Radar in Vital Sign Monitoring*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering,
- 內政部消防署. (2023). 112 年 1 至 10 月全國火災次數起火原因及火災損失統計表.
- 尹燕輝. (2007). 基於視訊處理之初期火警的煙霧偵測
- 何國偉. (2019). 應用毫米波雷達之人體姿態軌跡偵測.
- 吳世琳、王惟溫. (2014). 物聯網在健康醫療與照護之應用. <https://www.scimonth.com.tw/archives/4798>
- 杜晉瑋. (2021). 實作具 MQTT 協定的安全物聯網開道器

- 林宜賢. (2022). 應用於生理活動偵測之微波/毫米波雙頻段智慧型頻率追蹤雷達研究.
- 林怡彰. (2020). 應用於居家照顧系統之非接觸式生理訊號感測器
- 柳良義, & 呂易展. (2015). 遠端監控煙霧警報器之自動通報系統的設計. 第十屆智慧生活科技研討,
- 張志勇、陳正昌. (2014). 物物相聯的龐大網路—物聯網. <https://www.scimonth.com.tw/archives/4797>
- 劉柏青, & 邱俊誠. (2009). 非接觸式心跳與呼吸偵測系統之研究
- 鄭妃伶. (2023). 基於 ESP32 模塊的 PC 控制突發超音波產生器.
- 鄭紹材, 吳誌銘, 田慶誠, 余文德, & 雷明遠. (2012). 智慧型探測技術於建築防火之應用與發展. 建築學報(82_S), 43-57.
- 賴全裕, & 陳志傑. (2004). 煙霧偵測器之效能評估.
- 蘇一峰. (2020). 火災濃煙吸入造成的肺部傷害!. https://tvgh-suvy.blogspot.com/2020/04/blog-post_26.html

個人資料表

計畫主持人個人資料				
中 文 姓 名	陳政隆	聯 絡 電 話	0980012041	
英 文 姓 名	JHENG-LONG CHEN	行 動 電 話	0980012041	
通 訊 地 址	岡山郵政90395號	身 分 證 字 號	E123941956	
電子郵件位址	T107549@afats.khc.edu.tw			
學 歷	學 校 名 稱	院 系 級 別	起 訖 年 月	
	空軍航空技術學院	學士	97.07-99.07	
	國立屏東科技大學 資訊管理所	碩士	101.09-103.01	
現 職	服 務 機 關 名 稱	職 稱	擔任工作	起 訖 年 月
	空軍航空技術學院 航空電子工程科	講師	教學、研究、服務	107.8-迄今
經 歷	服 務 機 關 名 稱	職 稱	擔任工作	訖 年 月
	空軍航空技術學院 航空電子工程科	講師	教學、研究、服務	107.8-迄今
	屏東第六聯隊第二十 電戰大隊電子支援科	硬體 維修官	E-2K 機系 統維護	99.07-107.08
專 長	微波、大數據分析、電子戰			

任務編組表

類別	姓名	服務機構 /系所	職稱	與本研究計畫 相關之條件	在本研究計畫擔任之具體 工作性質、項目及範圍
主持人	陳政隆	空軍航空技術 學院航空電子 工程科	少校 講師	微波領域	計畫規劃和設計、資料分 析和結果解讀、撰寫結果 報告
協 同 主 持 人	廖家德	空軍航空技術 學院航空通電 系	中校 副教授	天線領域	協助實驗設計和數據分析
協 同 主 持 人	吳峰蒼	空軍航空技術 學院航空電子 工程科	中校 助理教授	演算法領域	協助實驗設計和數據分析
協 同 主 持 人	吳威龍	空軍航空技術 學院航空通電 系	中校 助理教授	微波領域	協助實驗設計和數據分析
研 究 助 理	洪惠坪	空軍航空技術 學院航空電子 工程科	上士 助教	行政作業	協助行政業務和資料收集

共同主持人個人資料			
中文姓名	廖家德	身分證字號	P122532906
服務機構	空軍航空技術學院	職稱	航空通電系副教授 兼任航空電子工程科主任
協同主持人個人資料			
中文姓名	吳峰蒼	身分證字號	T122994713
服務機構	空軍航空技術學院	職稱	航空電子工程科 助理教授
中文姓名	吳威龍	身分證字號	E122582241
服務機構	空軍航空技術學院	職稱	航空通電系 助理教授
行政助理個人資料			
中文姓名	洪惠珩	身分證字號	E223275502
服務機構	空軍航空技術學院	職稱	航空電子工程科 助教

聯絡人：陳政隆

手機：0980012041