

早期火災探測預警人工智慧技術與 消防救災結合應用研究

受 委 託 者 中華大學

研 究 主 持 人 游坤明

協 同 主 持 人 陳昀暄

研 究 員 徐煥博

研 究 助 理 劉鍾興

研 究 期 程 中華民國 108 年 2 月至 12 月

研 究 經 費 新臺幣 131 萬 7 仟元

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	XI
第一章 研究方法及進度說明.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究方式.....	2
第二章 蒐集之資料、文獻分析.....	7
第一節 人工智慧探討.....	7
第二節 物聯網.....	10
第三節 藍牙技術探討.....	16
第四節 室內定位探討.....	17
第五節 機器人探討.....	19
第三章 極早期火災感知.....	23
第一節 人工智慧演算.....	23
第二節 燃燒實驗規劃.....	25
第二節 燃燒實驗資訊.....	48
第三節 人工智慧預測.....	67
第四章 機器人資訊彙整.....	71
第一節 消防機器人.....	71

第二節 機器人與建築分類	76
第三節 代表性機器人使用定位	79
第五章 藍牙與定位技術.....	82
第一節 藍牙定位架構.....	82
第二節 室內定位技術	86
第六章 結論與建議	92
第一節 結論.....	92
第二節 本計畫研究建議.....	94
參考資料.....	97
附錄一 採購評選會議紀錄審查意見及回應表.....	97
附錄二 工作會議記錄.....	101
附錄三 相關文獻發表與研究成果	131
參考書目.....	137

表次

表 1-1 計畫進度規劃時程表	5
表 2-1 人工智慧發展史簡表	7
表 3-1 感測元件一覽表	30
表 3-2 感測模組一覽表	31
表 3-3 CO+H ₂ S 預測結果表	69
表 3-4 CO+H ₂ S+TEM 預測結果表	69
表 3-5 CO +H ₂ S+TEMP+NO ₂ 預測結果表	69
表 3-6 CO +H ₂ S+TEMP+NO ₂ +NH ₃ 預測結果表	70
表 4-1 代表性早期偵蒐機器人列表.....	72
表 4-2 代表性滅火及影像傳輸機器人列表.....	73
表 4-3 代表性救援機器人列表	75
表 4-4 代表性特殊類型機器人列表.....	75
表 5-1 藍牙規格表	82

圖次

圖 1-1 計畫研究進度流程圖	4
圖 2-1 人工智慧發展關係	8
圖 2-2 生物神經元結構圖	9
圖 2-3 人工智慧概念表示圖	10
圖 2-4 物聯網三層架構	11
圖 2-5 Arduino UNO R3.....	12
圖 2-6 Raspberry pi(樹莓派).....	13
圖 2-7 AppsBee ZigBee 2.4G(CO).....	13
圖 2-8 溫度感測器	14
圖 2-9 MQ136 感測器.....	14
圖 2-10 Multichannel Gas 感測器	15
圖 2-11 NAP-505M 感測器.....	15
圖 2-12 MH-Z19B 感測器	16
圖 2-13 室內定位示意圖	18
圖 2-14 滅火、排煙消防機器人	21
圖 2-15 消防無人機.....	21
圖 2-16 浮空消防機器人	22
圖 3-1 人工智慧數據處理流程圖.....	24
圖 3-2 機器學習模型圖	25
圖 3-3 Multichannel Gas Sensor 實際連接圖	27
圖 3-4 H2S Sensor 實際連接圖	27

圖 3- 5 CO Sensor 實際連接圖	28
圖 3- 6 CO2 Sensor 實際連接圖	28
圖 3- 7 溫度感測器實際連接圖	29
圖 3- 8 資訊叢集協調端實際連接圖.....	29
圖 3- 9 樹莓派 4G 模組連接圖	30
圖 3- 10 IoTtalk 輸入、輸出設備功能圖	32
圖 3- 11 IoTtalk 設備連接圖.....	33
圖 3- 12 IoTtalk 設備註冊圖.....	34
圖 3- 13 數據型態表示圖	35
圖 3- 14 感測器資訊傳輸流程圖	35
圖 3- 15 樹莓派資訊傳輸流程圖	36
圖 3- 16 伺服器端資訊傳輸流程圖.....	36
圖 3- 17 實驗場所室內平面圖	38
圖 3- 18 實驗系統架構圖	38
圖 3- 19 實驗場所配置圖	39
圖 3- 20 感測器位置配置圖	40
圖 3- 21 感測模組線路規劃圖	42
圖 3- 22 勘察場地整體結構.....	43
圖 3- 23 勘察內部空間規劃	43
圖 3- 24 場勘天花板上方可進行架設空間.....	44
圖 3- 25 感測模組預定架設位置	44
圖 3- 26 天花板上方案源延長方式.....	45
圖 3- 27 主板接電運作與隔熱防護.....	45

圖 3-28 動力線佈設	46
圖 3-29 感測器架設施工過程	46
圖 3-30 感測模組架設完畢實際運作情形	47
圖 3-31 感測模組更換與測試	47
圖 3-32 熱顯像儀架設	48
圖 3-33 紅外線攝影機架設-1	49
圖 3-34 紅外線攝影機架設-2	49
圖 3-35 場域燃燒後之感測模組	50
圖 3-36 場域燃燒後之天花板空間	50
圖 3-37 場域燃燒後之主板供電設備	51
圖 3-38 陶瓷棉隔熱措施	51
圖 3-39 燃燒後場域拍攝圖	52
圖 3-40 熱顯像儀設備設定	52
圖 3-41 紅外線攝影機畫面測試	53
圖 3-42 燃燒實驗事前說明-1	53
圖 3-43 燃燒實驗事前說明-2	54
圖 3-44 燃燒實驗感測器架設圖	54
圖 3-45 燃燒實驗溫度變化圖	55
圖 3-46 燃燒實驗 CO 變化圖	55
圖 3-47 燃燒實驗 CO ₂ 變化圖	56
圖 3-48 燃燒實驗 NH ₃ 變化圖	57
圖 3-49 燃燒實驗 NO ₂ 變化圖	57
圖 3-50 燃燒實驗 H ₂ S 變化圖	58

圖 3- 51 影像擷取卡	59
圖 3- 52 攝影機拍攝圖-火勢成長	59
圖 3- 53 攝影機拍攝圖-煙流	60
圖 3- 54 攝影機拍攝圖-滅火	60
圖 3- 55 熱顯像儀拍攝圖-火勢初期	61
圖 3- 56 熱顯像儀拍攝圖-火勢後期玻璃遮擋.....	61
圖 3- 57 紅外線攝影機拍攝圖-火勢初期遮擋.....	62
圖 3- 58 攝影機拍攝圖-火勢初期	62
圖 3- 59 紅外線攝影機拍攝圖-火勢後期遮擋.....	63
圖 3- 60 紅外線攝影機拍攝圖-火勢成長	63
圖 3- 61 紅外線攝影機拍攝圖-火勢初期	64
圖 3- 62 紅外線攝影機拍攝圖-火勢後期不受遮擋.....	64
圖 3- 63 紅外線攝影機拍攝圖-前期側窗拍攝.....	65
圖 3- 64 熱顯像儀拍攝圖-火勢前期	65
圖 3- 65 熱顯像儀拍攝圖-火勢後期效果良好.....	66
圖 3- 66 攝影機拍攝圖-前門	66
圖 3- 67 攝影機拍攝圖-側窗	67
圖 4- 1 極早期偵蒐適用機器人類別.....	77
圖 4- 2 燃燒時期適用機器人類別.....	77
圖 4- 3 災後救援適用機器人類別.....	78
圖 4- 4 The Fire Fighting robot COLOSSUS.....	79
圖 4- 5 Aeronex firefighting drone.....	80
圖 4- 6 蛇形救災機器人	80

圖 4- 7 Arduino Based Autonomous Fire Fighting Robot.....	81
圖 5- 1 tracMo、tracMo Leaf 雙向藍牙追蹤器	83
圖 5- 2 tracMo Station	83
圖 5- 3 藍牙定位架構圖	84
圖 5- 4 RSSI 伺服器流程圖	85
圖 5- 5 RTLS 系統流程圖	86
圖 5- 6 三點定位概念圖	89
圖 5- 7 室內定位系統截圖	90
圖 5- 8RSSI 數值圖.....	90
圖 5- 9 室內定位系統截圖	91

摘要

關鍵字：物聯網、室內定位、機器人、智慧避難技術、人工智慧

一、研究緣起

近年來，我國在消防救災方面，對於第一線人員的安全部分，一直希望有更進一步的防護，在執行勤務上，資訊不對等造成火場安全疑慮的情況，對於救難人員一直是無法跨越的門檻，因此我們期許在早期探知與避難監控的方面，規劃一套運用人工智慧技術並有助於消防救災應用之系統，使其整合物聯網平台，連結終端設備，達成即時性的資訊探知，完成數據監控與分析，並於必要時給予使用者警示，有效提升環境監控安全成效；結合藍牙室內定位技術、人工智慧演算法以及雲端系統資訊統合，強化系統運作效能，給予即時性的避難導引，並將感測器部分之數值紀錄儲存至資料庫，後續提供大數據探討，便可透過人工智慧分析判讀事件發生情形，提供分析結果，給予使用者做為避難逃生甚至是救援行動的重要依據，也可提供智慧化避難協助，在不同地區、建材、樓層、起火範圍之情況下，分析各類型機器人對於各場域之搜查與救援能力，進行合適之機器人輔助運用。

二、研究方法及過程

本研究主要為研擬出一套複合式人工智慧避難引導系統，致力於早期室內環境特定氣體與溫度偵測，利用無人斥候方式透析火場資訊，本系統預計進行實際環境驗證方式，於室內空間進行燃燒實驗，透過火災初期的實際案例，蒐集記錄並且探討回傳之數值，分析偵測結果對於火勢延伸範圍或室內避難路線等影響，以及結合以下子系統完成系統初步建置，分別為：

環境感知：傳感模組、人流監控系統

雲端平台：資料庫系統、乙太通訊系統

避難逃生：數位電子看板、聲光避難引導系統

人工智慧：人工智慧模組、演算工程分析

本研究擬採用下列方式整合子系統且達成早期透析火場資訊，以增進救難人員救災安全性之目標：

1. 資料技術分析法：

採用次級資料分析法，分析國內外相關文獻資料，提供與本研究主題相關領域知識，以剖析火場安全發展、避難逃生引導、即時監測系統、人工智慧輔助等資訊應用。

2. 模組系統構建：

本研究系統分類成四類可獨立運作之子系統：(1) 透過環境感知蒐集現場環境資訊，取得人員數量位置；(2) 透過雲端平台記錄場域資訊和對外通訊等事項，以及提供聯網裝置必要之資源；(3) 避難流程結合數位電子看板以及聲光避難引導系統，提升避難人員注意力更為清楚避難路線及方向，避免空間迷航；(4) 將資訊整合至人工智慧探勘系統，自動化偵測場域變化，統合已知資訊，透過智能分析演算，計算出最佳避難路線。

3. 系統整合與實測：

結合各模組系統，解決相容問題，整合出一套複合式火災預警導引系統，並進行情境模擬，確保整合之系統運行正常，在透過實地演練觀察運行狀況，最後統整問題完成細部修正。

4. 專家學者座談方式：

邀請相關議題之專家學者，對本研究過程與成果進行審視，給予技術改進方向與專業建議。

三、研究發現

本研究擬完成一套複合式人工智慧避難引導系統，為使此系統可以在實際場域中正常運作，並有基本的穩定性與正確率，過濾掉誤報等不正確因素；透過建築研究所

之燃燒實驗，藉由燃燒實驗的實際場域模擬，蒐集可貴的實際火場數值變化，並利用系統中的物聯網平台，將這些燃燒實驗之數值變化情形，系統式的從終端感測設備利用 zigbee2.4G 將所有 ZigBee RO 端感測器資訊傳輸至資訊叢集協調端(CO 端)，數據蒐集叢集系統組成為 Raspberry Pi 3B +、可連網之行動或無線網路、Arduino UNO R3、ZigBee 2.4G Module(AppsBee CO)，將回傳之資料運用 Raspberry Pi 中的 Python 方式進行資料上傳，將所有資訊傳回至 IoTtalk 中，讓伺服器端能夠藉由平台將其資料進行數據儲存下載，並根據使用者需求，將所需資訊依照需求之不同，以不同單元的資訊性質分別下載。

物聯網平台 IoTtalk 整合構建時預期可達成之效益包含能以系統化方式來管理終端設備，快速建立一個甚至多個的設備模型(Device Model)，並可隨時依照需求建立設備之間的連接與移除，對於本次實地場域實驗之研究，將會運用眾多數目的感測器建置專案的情況而言，是相當便利的事情。

室內定位設備，經由藍牙裝置相互連線，構建出應用於室內環境定位之即時定位系統(Real-Time Location System,RTLS)，並透過行動網路或是可連網之裝置，抓取網域內的訊號資源，藉由蒐集訊號強度及其處理伺服器進行即時訊號處理，並利用最新藍牙技術，增進連線品質。

本研究擬完成一套複合式人工智慧避難引導系統，並針對坊間消防、救災機器人進行分類研究。坊間消防、救災機器人以多功能性為主，但同時也因為各種類機器人功能各有特性，因此分析其相對應的功能，便可大幅增加特定場域的執行效率運作效率。目前預期可將消防運用劃分為極早期偵蒐、燃燒前期、燃燒猛烈期、災後救援等四階段，並針對各階段選擇合適之機器人，後續對於消防單位進行救災演練時，也可對於各類型建築場所，採用合適之機器人，將機器人功能之使用發揮最大效益。

四、研究建議事項

本研究經過十一個月縝密的資料蒐集、研究與系統開發建置，對於本計畫提出下列建議：

建議一

辦理智慧物聯網平台及複合式火災感知系統技術應用研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：中華大學

本計畫建議使用物聯網平台進行整合的方式，將多元感知模組收集到的實際數值進行分類整合並套入至系統，在進行傳輸、上傳與下載數據的過程中，數據都可即時且準確的寫入資料庫，對於未來更大量資料的即時收集，將具有實質的應用協助。

建議二

辦理人工智慧應用於消防安全科技推廣工作：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部消防署、中華大學、財團法人台灣建築中心、中華民國全國建築師公會、中華民國消防設備師公會全國聯合會

本所將於 109 年辦理之「108 年度建築研究成果發表講習會」、「2020 前瞻建築防火科技研討會」進行人工智慧與消防科技有關專題報告，以推廣應用。

建議三

申請早期火災人工智慧分析預警相關專利：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：中華大學

人工智慧演算方式之成效，經由機器學習進行火災分析，預期可判斷起火區域，並經由火災場域資訊蒐集計算出火勢蔓延範圍，也可分析數值變化，將各式不同火災數據依照其分類法則進行分類，並可考量相關建材、建築結構設計，配合消防專業建議，故可考量對於新型火災預警技術之專利申請。

建議四

推動消防機器人應用於協助消防救災相關行動：中長期建議

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：行政院災害防救辦公室、內政部建築研究所、中華大學

1. 本研究對各類型機器人在各式場合可做出的貢獻進行探討，研究不同類型機器人適合提供的幫助成效，將各式機器人進行功能類別方面之區分，並將災害發生之時間軸加以分類，使各功能之機器人對於各時間點之貢獻程度加以評估，幫助消防救災人員對於消防機器人使用效益多一些瞭解，以利於後續增加機器人進行火場極早期探勘等工作，盡可能減少第一線人員面對危險的機會。

第一章 研究方法及進度說明

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

隨著現今科技的發展，各項技術的進步，各種工作的規劃與執行都朝向更有效率的方向邁進，當然也包括了建築工法，在建築結構上不斷創新發展，對於建材的選用上也會因地制宜，然而在所有的室內空間中，避難逃生的規範，也成為建物完工中不可或缺的一環，政府部門也馬不停蹄的修訂相關辦法，對於避難逃生方面希望能減少事故對於人身安全的危害；在現實生活中，我們可能會經歷各式各樣不同的災害，而火災對於室內空間的危害，是我們避之而唯恐不及的，倘若不幸遭遇到無法處理的火勢，需出動救難人員進行搶救時，第一線救難人員的人身安全是我們現在必須優先考量的重點問題之一。

現今救災人員面對火場所遭遇到的危難狀況，也隨著社會發展型態的改變，使火災的樣式跟著複雜化，假使火勢出現在鐵皮工廠、化學廠房、廢棄物地下室，這些空間充斥著各種不確定的物質，使災害環境更加險峻，又或是加上閃燃、空間迷航等意外事件，將會使人員所承受傷害之更為嚴重。

鑑於上述觀點，為能使消防人員安全更加提升，增加受困人員避難成功率，使得災害現場資訊能更透明化，本研究研擬一套「複合式人工智慧避難引導系統」，藉由無人探知方式，提早獲取各式場域中之資訊，把握避難逃生的黃金時間，在火勢發生之早期情況下，予以示警，藉由子系統中環境感知的多元感知模組與藍牙模組進行場域監控與人流監控，給予系統即時的場域數據，並經由物聯網平台進行裝置之間的整合，將資料純化，藉由系統化管理設備，將資訊分門別類紀錄，隨時記錄的場域數值變化，經由資訊傳遞交由系統判讀，對此數據進行人工智慧演算，得出避難規劃可參考之依據，對於火勢大小可進行區別，歸類火勢嚴重程度，對於起火位置以及延燒程度將能更進一步的預測與瞭解。

火場環境中存在著諸多不確定因素，對於環境中端感測設備的運用方式，以及實

質能運作的程度，是否對於整合平台或是主系統判讀出現錯誤的判斷，這些問題將會在本研究中進行實地的場域驗證，並於後續對於可能出現之問題，進行設備方面以及技術方面之探討。

對於災害發生時的應變，往往透過指揮官專業的判斷，再經由第一線救難人員的衝鋒陷陣才得以完成，但每當有危急狀況發生，首當其衝的便是這些救難人員。如能對現有的救災、消防機器人進行分析，使專業人員對機器人多一些瞭解，將第一線任務交由機器人取代，便可大幅減少人員面對危險的機會。

貳、研究目的

本研究「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」，是針對場域環境狀態偵測，終端設備資訊系統化管理與即時性人工智慧演算工程之綜合研究。為研究複合式人工智慧避難引導系統對於實際環境中的應用，本研究將複合式人工智慧避難引導系統之多元感知模組裝設於實際場域中進行系統驗證與測試並進行探討。

為達成以上研究目的，早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究進行個技術方向之研究探討，使系統架構更加完善，改善系統在實地場域進行系統驗證時的運作，整合上述本研究重點可歸納如下：

1. 提升物聯網平台整合終端感測設備之穩定性與應用性。
2. 探討複合式人工智慧避難引導系統應用於實際環境之狀況。
3. 探討機器人對於各式火場建築與建材差異，所能提供之協助。
4. 透過智慧型雲端平台使系統能進行高效率的資訊傳遞。

第二節 研究方式

本研究主要為測試「複合式人工智慧避難引導系統」針對室內環境數值測量室內定位情形進行人工智慧演算，運用最新的物聯網整合平台以及多元性的環境感知設備，佈建環境無線(或有線)感知系統以強化環境狀態監控。本研究透過平台管理以及蒐集感知設備之資訊與狀態進行純化與接收，並將運算過後之有效資訊傳送至指揮室或防

火管理人。利用行動裝置提供消防人員火災發生後的第一手消息。再將整合室內火災避難引導技術及人工智慧即時分析演算技術，以建構最佳化智慧探測模組，提供極早期火災探測(Very Early Fire Detection)技術協助室內環境預警通報及火源探知，並引導避難人員迅速疏散。

蒐集而來的資料可加以研究分析，將各設備接收之溫度氣體，使用正規化方式整理，挑選對於消防研究方面影響較為深刻之氣體，進行人工智慧分析，使用機器學習方式，讓系統進行模擬判斷是否有火災發生，達成早期火災預警之功效。

壹、研究方法

本研究主要宗旨是讓「複合式人工智慧避難引導系統」於實際環境中應用狀況進行探討以及煙霧環境下人流技術無法識別之解決辦法，為達以上目標，本研究擬採用多元研究方法：

1. 資料技術分析法：

採用次級資料分析法，分析國內外相關文獻資料，提供與本研究主題相關領域知識，以剖析火場安全發展、避難逃生引導、即時監測系統、人工智慧輔助等資訊應用。

2. 智慧分析與數據蒐集

運用感知模組測量場域環境中所需之感測資訊，對於驗證火場火勢發展之進行、進行火場溫度與氣體變化之差異，嘗試使用人工智慧技術進行各式火災情景分析，作為火點探知，早期火災情境探測之研究分析。

3. 模組系統構建與整合：

本研究系統分類成四類可獨立運作之子系統，透過環境感知蒐集現場環境資訊，取得人員數量位置。透過雲端平台記錄場域資訊和對外通訊等事項，以及提供聯網裝置必要之資源。結合各模組系統，解決相容問題，整合出一套複合式火災預警導引系統，並進行情境模擬，確保整合之系統運行正常，在透過實地演練觀察運行狀況，避難流程結合數位電子看板以及聲光避難引導系統，提升避難人員注意力更為清楚避難路線及方向，避免空間迷航。整合為人工智慧探勘系統，自動化偵測場域變化，統合

已知資訊，透過智能分析演算，計算出最佳避難路線，最後統整問題完成細部修正。

4. 專家學者座談方式：

邀請相關議題之專家學者，對本研究過程與成果進行審視，給予技術改進方向與專業建議。

貳、研究進度流程表

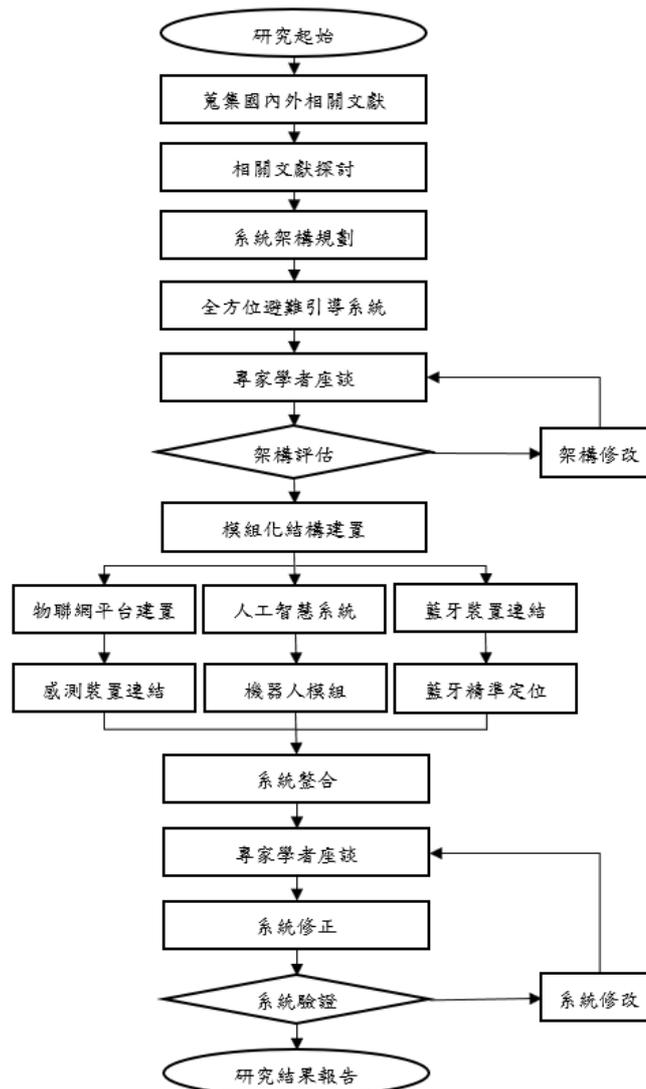


圖 1-1 計畫研究進度流程圖

(資料來源：本研究自行繪製)

參、進度說明

本研究依照規劃時程已完成如表「相關文件蒐集與探討」、「系統架構規劃」、「全方位避難引導系統建置」、「模組化架構規劃與建置」、「期中報告」、「物聯網平台建置

與整合」、「人工智慧系統建置與整合」、「藍牙連結設備建置與整合」之工作項目。「專家學者座談」、「系統實地測試驗證」、「系統演算修正」、「期末報告」工作項目亦照預定時程進行。計畫執行進度及工作項目符合預定進度。

表 1-1 計畫進度規劃時程表

月次	第 1 個月	第 2 個月	第 3 個月	第 4 個月	第 5 個月	第 6 個月	第 7 個月	第 8 個月	第 9 個月	第 10 個月	第 11 個月	備註
1.相關文件蒐集與探討	■											
2.系統架構規劃	■											
3.全方位避難引導系統建置			■									
4.模組化架構規劃與建置			■									
5.期中報告					■							
6.物聯網平台建置與整合			■									
7.人工智慧系統建置與整合					■							
8.藍牙連結設備建置與整合					■							
9.專家學者座談							■			■		
10.系統實地測試驗證								■				
11.系統演算修正							■					
12.期末報告									■			
13.成果報告											■	
預定進度 (累積數)	13	26	38	45	57	64	70	82	93	96	100	
說明：1.工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。 2.預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每 1 小格粗組線為 1 分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。 3.科技計畫請註明查核點，作為每 1 季所預定完成工作項目之查核依據。												

■ 已完成事項、■ 目前進行、■ 尚未進行

(資料來源：本研究自行繪製)

第二章 蒐集之資料、文獻分析

複合式人工智慧避難引導系統為一套以智能感知為基礎之動態避難引導平台，經由平台式整合技術輔助，提供後端整合，最後經由人工智慧演算，獲得相關資訊之整合性應用平台，為達成上述目的，本團隊對於以下各大技術概念，蒐集了與本研究相關的文獻，進行了專業文獻資料之分析與探討，以利於研究上對於系統應用時相關的可行性與準確性加以佐證，解決實驗上所遭遇的相關問題。

第一節 人工智慧探討

1950 年代圖靈(Alan Turing)提出了著名的圖靈測試(Turing test)，說明機器擁有智慧的可能，1951 年馬文閔斯基(Marvin Minsky)構建了第一個人工神經網路機器(SNARC)，奠定了人工智慧的基礎。直到 2010 年代機器學習(Machine learning)的躍進，使人工智慧浪潮再次興起，相關人工智慧發展史簡表，如表 2-1。

表 2-1 人工智慧發展史簡表

	時間	代表性技術	開發成果	結果
第一次浪潮	1950~1980 年代	遺傳演算法 (Genetic algorithm)	MIT 建立第一個對話程序 ELIZA	計算能力有限，機器的語言理解模糊，無法解決實用問題。
第二次浪潮	1980 年代	專家系統 (Expert system)	MYCIN&XCON 等專家系統	系統透過特定程序回答，開發與成本過高，因此應用與商業價值有限。
第三次浪潮	2010 年至今	機器學習(Machine learning)	經深度學習訓練的 AlphaGo	網路、硬體較為成熟，可透過類神經網路來進行高度計算的深度學習。

(資料來源：本研究自行繪製)

1950 年代各方趨之若鶩的透過電腦來解決數理邏輯推導的問題，60 年代的應用都以 True 與 False 來的邏輯來理解，應用的面相以數理之證明為主，後續十來年由於都沒有重大的突破，又受限於硬體上有速度較慢又有限制的處理，因此遇上了發展的瓶頸，應用方面相較於先前寄託在人工智慧上，幫助處理許多困難問題的方面，也並沒

有想像的順利且廣泛，並無法解答原先就不知道的問題。

1980 年代統計思維中量化的概念替人工智慧的發展找到了另一線生機，透過演算法使得機器能從大量歷史數據中學習規律，從而對新的樣本做智慧辨識或對未來進行預測，導入統計思維的量化概念，形成**統計學+機率+程式**的機器學習。機器學習常見的演算法又可再分為：監督式學習 (Supervised Learning)、非監督式學習 (Unsupervised Learning)、半監督式學習 (Semi-supervised Learning)、增強式學習 (Reinforcement Learning) 等方式，應用也相當廣泛，例如：預測需求、自然語言處理、證券分析、視覺辨識、語音識別、手寫識別等等。後期由於硬體運算能力也大幅提升，機器學習對於語音辨識與影像辨識的演算能力也隨之增強，應用的領域也越來越廣，進而把多層類神經網路正式命名深度學習 (Deep learning)，使用 GPU 作為資源計算，進而提升 10 倍以上的計算速度 (林大貴, 2017)，相關整理如圖 2-1 所示。

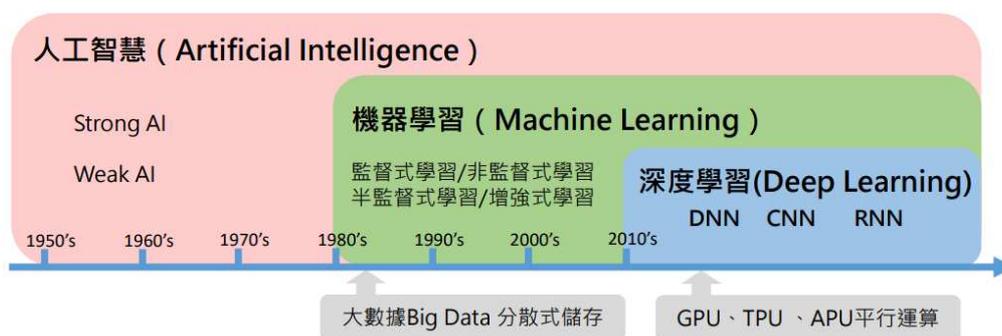


圖 2-1 人工智慧發展關係

(資料來源：TensorFlow+Keras 深度學習- 人工智慧實務應用。林大貴。博碩文化)

機器學習基本上是讓電腦利用已有的資料，得出了某一種模型，並利用這些模型預測未來的一種方法，強調讓機器自我學習，藉由資訊的蒐集與演算法的改進，讓機器可以吸收知識，自我學習，並根據學習的成果或預測的準確性修正與反饋，不斷提升機器的智慧，透過從過往的資料中學習並找到其運行規則，從母體資料中找到的樣本資料，並透過樣本資料訓練機器辨識出運作模式，而不是用特定的規則編寫運作模式，最後達到人工智慧的成效。

歸功於硬體成本的下降以及運算能力的增強，使大量數據可以經由機器學習來做處理，使電腦自行從資料中進行分析。深度學習為機器學習的一個分支，源自於類神經網路 (Artificial Neural Network) 模型，最常用來進行語音辨識以及物體的視覺辨識，

蒐集大量的資料至電腦進行學習運算，後續得以讓電腦依照先前學習的資訊來做後續資料的判讀；類神經網路的概念源自模擬人類大腦神經系統的運算模型，透過層層連接的神經元(Neuron)，建立傳導的模型，以推論資訊從輸入(Input)到輸出(Output)的過程，而類神經網路的研究，已有 50 餘年的歷史，早在 1943 年，心理學家 McCulloch 及數學家 Pitts 合作提出了 M-P 模型，即所謂的「形式神經元」的數學模型，神經科學理論的研究從此展開，往後也有許多的科學家與工程師相繼投入此一領域的研究，例如在 1949 年 Hebb 提出改變神經元連接強度的 Hebb 規則、在 1957 年 Rosenblatt 引進了感知器 (Perceptron) 的概念、在 1962 年 Widrow 均自適應線性元件等，諸多研究都為類神經網路領域的研究奠定下重要的基礎。

類神經網路是參考生物神經系統的結構，神經網路系統提供知覺輸入(Sensory Input)、整合 (Integration)、動作輸出(Motor Output) 等三大功能，神經元(Neuron)是構成神經系統的基本單元，各個神經元之間互相連結，由外部神經元接收信號，再層層傳導至其他神經元，最後作出反應的過程。神經元結構的運作由神經元的信號輸入開始，樹突(Dendrites)可從周圍接受其他神經元所傳入的信號，且每個樹突都能夠計算訊號與該樹突權重值相乘的結果，再由掌管神經元信號輸出的軸突(Axon)作為連接到其他神經元的信號輸出端子，最後透過突觸(Synapse)這個連接神經元的介面，進行神經元之間訊息的傳遞 (SeungSub, Jehun, Hyunjung, Soyeon, & Jinho, 2017)，其神經元結構圖如圖 2-2 所示。

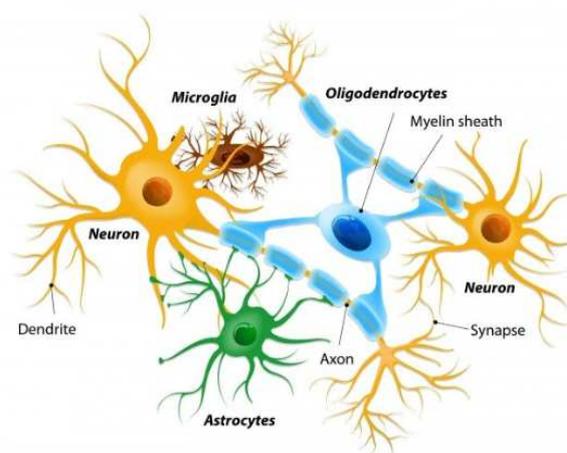


圖 2-2 生物神經元結構圖

(資料來源：<https://ithelp.ithome.com.tw>)

目前已有研究單位及企業進行消防機器人之研發，希望能透過感知裝置或經由程式完成類似人類的偵查動作，在不經過人工勘察的情況下，透過智能演算方式(圖 2-3)，預判情境發生方向，使我們能有可參考之資訊，來獲取更多反應時間。透過人工智慧技術，在室內空間流暢移動，模擬巡邏勤務，觸發特殊情況時自動辨識遭遇情況，以自動化的方式進行資料傳遞或是救災引導等工作。



圖 2-3 人工智慧概念表示圖

(資料來源：本研究自行繪製)

第二節 物聯網

物聯網技術，Internet of Things(IoT)，為一種無線網路技術，透過網際網路或是電信網路等資訊載體，將各種資訊感測設備，如藍牙與紅外線等感測器、無線射頻辨識裝置(RFID)、WiFi、全球定位系統等種種裝置，與網際網路結合起來所形成的一個巨大網路，使他們達成聯網以及溝通等目的。IoT 技術的應用範圍十分廣泛，例如各個裝置在經過連結過後，可透過此技術查詢裝置之具體位置、接收回傳數據等資料，由伺服器電腦進行蒐集，並儲存整合為巨量資料，可再利用這些大數據資訊進行分析，達成早期人力無法取得大量且精確資料的進步 (周碩彥, 2015)。

GS1/EPC global 的前身，麻省理工學院 AutoID 實驗室 (MIT AutoID Lab) 在 1999 年時提出被稱為 EPC 系統架構的 IoT 技術構想。EPC(Electronic Product Code)被提出以 RFID 為基礎的 IoT 應用服務，由許多 RFID Reader 與 RFID tag 連結後端系統和網際網路組成，傳送掃描之 RFID 資訊給後端，儲存資料後再透過網路加密傳送，完成共享資料，使物品資訊可被標準化。以全球性 RFID 為基礎的物品識別系統 EPC Global Network 其全名為”Electronic Product Code Global Network”，取代原本的 UPC

(Universal Product Code)統一商品條碼，減少不同物流間資料的不流通，免去大量的人力成本 (Biswas & Giaffreda, 2014)。

歐洲電信標準協會 European Telecommunications Standards Institute (ETSI)將 IoT 劃分為感知層、網路層與應用層共三層架構，其分類整理圖如圖 2- 4，感知層為技術發展的基礎，包括 RFID、無線傳感網路(Wireless Sensor Network, WSN)、嵌入式技術 (Embedded Intelligence)，可針對環境的物理或者狀況進行監控，並可接受遠端操作、設定、管理或控制，與大量支援網路節點等特性。網路層分為無線的電信與數據網路，以及使裝置與裝置間得以互相溝通的網路協定，由於各個設備都有各自的網路協定，會造成頻段被佔用或無法溝通等問題而無法使用；再加上雲端計算(Cloud Computing)，把各個端點設備串聯起來，讓雲端電腦查詢、儲存、運算各裝置使用的數據，減少各個裝置的硬體設置成本。應用層則是物聯網與各專業技術的整合，針對不同狀態與蒐集到的不同資訊進行有效性分析與評估，或收集來自每一個裝置或設備之感測器的數據資料，進行業務邏輯分類與分析判斷，並且提供相關的服務，並依照感知設備的數據，變化各種使用方式，結合不同功能達成使用者的需求 (Hada & Mitsugi, 2011)。

物聯網架構					
應用層	Web Server		Smart Home		Cloud Control
網路層	4G/5G	Bluetooth	Wi-Fi	ZigBee	WiMAX
感知層	RFID	Sensor	E-Tag	Reader	MEMS

圖 2-4 物聯網三層架構

(資料來源：本研究自行繪製)

機器對機器通訊 (M2M, Machine to Machine)旨在裝置與裝置間能直接透過網路進行通訊交流，不需透過人為干涉的一種系統模式，為物聯網主要應用方式之一，應用於無線通信網路，使一個集中器(Concentrator)作為數據的轉發器，透過智能電表 (Smart meter)蒐集、儲存數據封包，再由 M2M 閘道(Gateway)開始發送數據封包至基地台(Base station)。

感測器(sensor)應用於偵測場域環境中的變化，將數據訊息藉由網路等媒介傳送至

其他裝置；物聯網在硬體方面大致可為前端節點(node)、閘道(gateway)、以及後端雲端(cloud)，微機電系統(Microelectromechanical Systems, MEMS)在此扮演蒐集訊號數值給智慧型裝置(smart device)的感測器，再將大量蒐集得來的資料透過閘道傳往雲端儲存運算；物聯網可利用 MEMS 有效滿足低功耗、精簡小巧、合乎成本效益等訴求 (Czurak, Maj, Szermer, & Zabierowski, 2018)。

當室內發生火災時，最需要關切的問題是要如何落實災害早期的避難動作，使傷亡人數降到最低。物聯網感知層之設備，可使用來進行早期監測動作，因此需要使用煙霧、溫度、火點、氣體濃度等等感測器終端設備，感測取得之數據結果，經由閘道傳送訊息，觸發控制器開始後續動作。

為精進智慧型避難引導系統，沿用本所先前研究成果，運用無線感測網路技術，蒐集場域中的溫度、氣體濃度與火點感測等等相關環境資訊，並且加入藍牙 5.0 技術，利用室內定位節點提供室內環境精準定位，提升所內研發之 RFID 室內定位輔助技術，回傳至中央監控系統，提供機器人位置引導及人員位置引導，即時回傳數據交由系統演算，隨時更動智慧型避難引導系統的輸出結果。

利用物聯網平台整合具多元感知設備，使其通訊協定皆可溝通，建置一具有溫度、濕度、照度以及煙霧等環境感測系統，使不同裝置間具有節、溝通的管道提供最佳化室內人員定位，提供室內移動設備及人員引導，使物聯網設備，統一結合此平台完成即時資料訊息交流。

壹、感測器開發板套件

一、Arduino UNO R3



圖 2- 5 Arduino UNO R3

(資料來源：Store.arduino.cc)

ArduinoUNO R3(圖 2- 5)為一種單晶片微控制器,使用 Atmel AVR 的 8 位元晶片,建構於簡易輸入、輸出的介面板,採用開放式原始碼的軟硬體平台,使用類似 C 語言的開發環境。可由 USB 連接埠、電源輸入插座、Vin 腳位三種方式提供電源。具備類比以及數位接腳,類比腳位可輸出高電位 5V 與低電位 0V 的訊號,也可進行訊號輸入;類比訊號有 A0 至 A5 六個腳位,可用來接收類比電壓輸入,但無法輸出類比電壓,需透過其他腳位進行 PWM 模擬。

二、Raspberry pi(樹莓派)



圖 2- 6 Raspberry pi(樹莓派)

(資料來源：台灣樹莓派)

Raspberry Pi(圖 2- 6)是一款由 Linux 作業系統為基底的單晶片電腦,由英國樹莓派基金會所開發,以低價硬體開發為目的,並分 A、B 兩種型號,Python 程式為第一個移植到樹莓派上執行的程式類別。基本配備一枚博通半導體公司 (Broadcom) 出產的 ARM 架構 700MHz BCM2835 處理器、256MB 記憶體 (B 型為 512MB 記憶體),使用 SD 卡方式作為儲存媒體,且擁有一個 Ethernet、兩個 USB 介面、以及支援聲音輸出的 HDMI 和 RCA 端子輸出支援。

三、AppsBee ZigBee 2.4G RO、CO



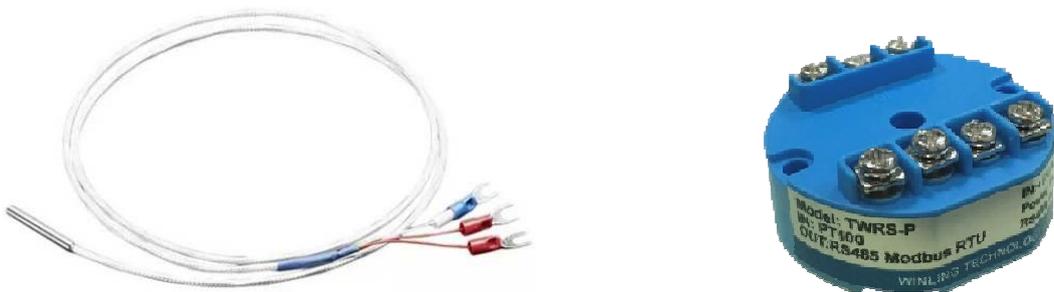
圖 2- 7 AppsBee ZigBee 2.4G(CO)

(資料來源：Appsduino)

AppsBee 系列 ZigBee 擴充板是一個專為 Arduino 打造的 ZigBee 的擴充板(圖 2- 7)，可將擴充板直接插入 Arduino 的接腳插槽內，不需再透過其他轉接板。模組基於 TI 高性能低功耗的 2.4G 射頻收發晶片 CC2530 及大功率低雜訊射頻前端晶片 CC2591，體積小，信號好，具有性能穩定、低功耗、遠距離、大量 ZigBee 無線傳感器組網的能力。開發過程簡化為 UART 與 IO 腳位控制的簡單操作，而 AppsBee 擴充板也能藉由開放硬體 Arduino，連結眾多感測器與程式庫(Libraries)，讓使用者易於操作。

貳、 終端設備

一、PT100 溫度感測器+溫度轉換器



(A) PT100 溫度感測器

(B)溫度轉換器(0~5V@0 ~ 300°C)/24V

圖 2- 8 溫度感測器

(資料來源：賀利氏材料科技)

測量環境溫度，使用 PT100 電阻型高溫探頭，提供 24V 電源，利用電位差異進行測量資訊傳遞，為提供數據採集便利性，本研究使用溫度轉換器連接高溫探頭以及主板(圖 2- 8)，主要為測量 0 至 300 度的溫度變化，讓測量環境溫度之數值產生線性特性，使數據更加純化且正確可採信。

二、MQ136 H2S Sensor



圖 2- 9 MQ136 感測器

(資料來源：漢威電子)

MQ136 H₂S Sensor(圖 2- 9)利用氣體感測特性來驅動金屬特性，而產生微小的電阻變化，透過雙路信號輸出，具有信號輸出指示，模擬量輸出 0~5V 電壓，回傳之電壓越高代表濃度越高。對硫化氫、天然氣、煤氣、煙霧有較好的靈敏度。此感測器使用上需提供 5V 直流電，通電後燻熱經過 20 秒左右，即可測量穩定數據。

三、Multichannel Gas Sensor

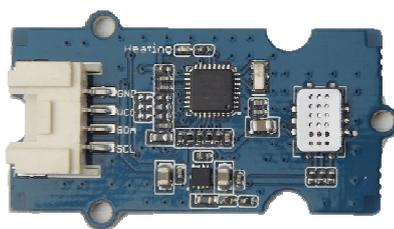


圖 2- 10 Multichannel Gas 感測器

(資料來源：Seedstudio)

多通道有害氣體感測器(圖 2- 10)內建 MiCS-6814 單晶片，可以偵測多種對人體有害的氣體，傳感器可以針對一氧化碳、二氧化氮、乙醇、氫氣、氨氣、甲烷、丙烷、異丁烷七種不同氣體進行採集，可同時針對三種不同氣體做接收動作，但為了讓感測器能夠確實且精準抓取環境數據，本研究僅選擇 NO₂ 與 NH₃ 數據進行採集。

四、CO Sensor



圖 2- 11 NAP-505M 感測器

(資料來源：艾格倫科技)

一氧化碳感測器 NAP-505M(圖 2- 11)是日本最平民化的環境中的一氧化碳氣體蒐集的感測器。在智慧環境的建築中，NAP-505M 是在價位與精準兩者之間的最佳選擇，其工作原理是利用電化學式檢測電極的氧化還原方式進行檢測空氣中 1,000ppm 以內

的 CO 含量，且完全不受濕度影響。

五、CO₂ Sensor



圖 2- 12 MH-Z19B 感測器

(資料來源：煒盛科技)

二氧化碳感測器 MH-Z19B(圖 2- 12)，為 NDIR 非色散式紅外線氣體感測器，利用氣體對紅外線特殊波長的吸收特性與氣體濃度與吸收量呈正比之特性，測量氣體濃度由 0 至 5000ppm，其氣室採用鍍金處理，具有防水以及防腐蝕性，並同時有數字輸出、模擬輸出及 PWM 輸出，方便使用者同時接收。二氧化碳對 4.3 μ m 波長之紅外線的吸收性最強，因而得以使用涵蓋此範圍的元件進行氣體濃度偵測。

第三節 藍牙技術探討

藍牙是一種無線通訊技術，使用短波特高頻(Ultra High Frequency, UHF)無線電波，經由 2.4 至 2.485 GHz 的 ISM 頻段來進行通訊，為避免同頻率裝置的干擾，採用頻率跳躍(Frequency Hopping)，避免同頻率裝置的干擾，並連結多個裝置形成個人區域網路(Personal Area Network, PAN)。藍牙技術由 1994 年開始發展，於 2016 年 6 月發布 5.0 協議，從先前版本的高速藍牙、低功耗藍牙 Bluetooth Low Energy (BLE)又再更精進，把有效傳輸距離的理論值提升至 300 公尺，傳輸速度升至 24Mbps。

藍牙 5.0 可允許物聯網設備遠離當前配對的設備並獨立運行，把裝置的有效傳輸距離理論值提升至 300 公尺，傳輸速度升至 24Mbps，並且在拓撲結構中廣播(broadcast)更為豐富的資訊，近期更推出 Mesh(網狀網路)技術，打破傳統藍牙裝置間「一對一」的配對限制，轉變成「多對多」的訊號傳輸模式，使低功耗藍牙的拓撲，由原先的點對點式(PAIRING)，轉變為廣播式(BROADCASTING)，再由一對多的廣播式連結方式，

變化為 Mesh，並將多對多連結的行為模式，應用在藍牙 5.0 以及其過往版本上，此套技術的連線規範，可使上百個節點(node)互相連結，使其連線範圍更為廣泛。解決物聯網設備單一連結所耗費高成本，因此 Mesh 的出現對於對物聯網發展增添了許多應用空間 (何世偉, 2007)。

本研究團隊對於現行藍牙裝置市場進行前期研究發現，市面上有一款藍牙裝置 tracMo 使用藍牙 5.0 技術，其主打低耗電長時間運作的特色，且支援網狀網路(mesh)，只要處於裝置之有效範圍，裝置與裝置之間即可進行連接與溝通，提供多對多的裝置傳輸。除此之外，也可透過智慧型裝置進行連線，使得每個裝置都成為一個節點，延伸整體網狀網路得延伸範圍。通訊傳輸時，節點因為原先設置好的 broadcast 條件，在接收鄰近節點傳送之訊息時，同時也不斷傳輸資料給其他節點，使各個節點形成中繼站(relay station)，直到傳送的訊息到達雲端平台，由於聯網的機制，使用者也可即時更新 tracMo 接收的資訊，透過其網域，使周邊設備共同尋找所在位置，所以 tracMo 的中繼站越多，搜索範圍就越廣泛。

第四節 室內定位探討

藍牙定位基於 RSSI(Received Signal Strength Indication, 接收信號強度指示)定位原理，亦同為 wifi 定位中最常見的觀察結果，其示意圖如圖 2- 13。RSSI 的定位計算方式為隨著傳輸距離的增加，信號衰減模型(Signal Attenuation Model)所接收到的藍牙信號強度逐漸減弱，為了使 RSSI 值更精確，可採用高斯曲線擬合(Gaussian curve fitting technique)或是高斯光滑技術(Gaussian smooth technique)來處理訊號。將三個 beacon 透過計算公式取得三個圓的交點、節點位置、多個交叉點位置以及重疊區域，最後使用質心定位算法(centroid localization algorithm)解決問題 (Shen, Yang, He, & Huang, 2016)。

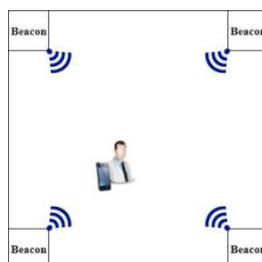


圖 2-13 室內定位示意圖

(資料來源：本研究自行繪製)

定位方面常用的定位技術，例如接收訊號角度定位法(Angle of Arrival, AOA)主要是利用訊號接收時的角度進行定位，然而卻需要有額外的方向性天線或其他輔助設備，才得以達成，其定位原理，是利用具有方向性且已知的訊號發射地點所量測的訊息，便可得出目的地的來源方向，如有遇到兩個或以上的基地台分析出目標的方向，可運用兩條或以上的直線做交點定位，直線之交點便是目標之位置。AOA 定位之缺點包含多重路徑效應(Multi-path)之影響，且定位演算法較為複雜，導致定位精準度相較之下準確度不足，如果接收端基地台與目標地點距離較遠時，解析度造成的誤差距離也將嚴重影響定位的精準性；到達時間定位法(Time of Arrival, TOA)與到達時間差定位法(Time Difference of Arrival, TDOA)則是利用訊號接收的時間進行定位，而節點與節點之間訊號時間同步部分需要額外的硬體才能完成定位工作，透過測量訊號時到達兩個基地台的時間差來確定目標位置，只需要各基地台之間進行時間的同步校正，不須由基地台跟目標設備完成同步校正。可適用於三個基地台預測出兩個 TDOA 的模式，並可訂定目標為於兩個 TDOA 所決定出的平面雙曲線交點上。此方式缺陷在於功率控制上，造成離基地台較近的目標發射功率較小，使用上造成測量誤差；最後是上述提及之接收訊號強度定位法 RSSI，利用 RSSI 訊號定位不需要額外且高成本的硬體設備，且幾乎所有的射頻晶片中都提供數位化之 RSSI 參數，可供使用者抓取資訊加以分析處理 (G. Mao, 2007) (N.Patwari, 2003)。

基於定位端的不同，藍牙定位方式分為網路側定位和終端側定位。網路側定位系統由終端(智慧型裝置)、藍牙 beacon 節點，藍牙網關(Gateway)，及後端數據伺服器構成。當終端設備進入 beacon 信號覆蓋的範圍，測出其在不同基地台下的 RSSI 值，再依照訊號強度定位出實際位置。

結合 WiFi 減少室內定位誤差，藍牙在傳輸距離方面還是不及 WiFi 的廣泛，因此結合 WiFi 的定位範圍，再加上省電等等特性，使其兩者技術得以相輔相成。結合之方式，可使藍牙掃描周圍的 BLE 廣播器裝置，再藉由微控制器單元與 WiFi 溝通，因 BLE 掃描裝置無法直與 WiFi 溝通，得利用微控制器單元上之接收功能，透過開發平台之連

線溝通韌體，進行相互連線溝通 (Pei, et al., 2012)。

目前室內定位常用的定位原理，主要分為：鄰近探測法、極點法、多邊定位法、質心法、指紋法和航位推算法，可在不同場合變更或組合使用。主流技術舉例以下幾種：

1. WiFi 定位技術：採用”近鄰法”判斷，意旨最靠近哪個熱點或基地台，處在什麼位置，交叉定位多個訊號源提高精度，可以實現大範圍之定位。
2. 藍牙信標技術：精度相較 WiFi 稍微高一點，信標透過藍牙，向周圍廣播自身的 ID，終端取得後便會從雲端抓取此 ID 對應的位置資訊。
3. 無線射頻辨識技術(RFID)：透過發信器取得資訊，採用近鄰法、多邊定位法、接收信號強度等方法，確定標籤所在位置，其作用距離很近且精準，但其不具有通信能力，以及抗干擾能力，不便整合於其他系統當中。
4. 紅外線技術：分別透過多對發射器和接收器，直接對運動目標進行定位，以及使用紅外線的電子標籤發信器，測量信號源的距離或角度，計算出目標所在位置，但容易被遮蔽或受熱源、燈光等干擾，造成定位精準度下降。

以目前常見的定位技術來說，精準度最高的是超寬頻 (Ultra Wide Band, UWB) 技術，但 UWB 技術礙於成本高昂、設置複雜與高耗能等因素，無法普及；其次是藍牙信標技術以及紅外線技術，在訊號穿透力的考量下，紅外線技術易遭遮蔽的問題導致無法有效定位，藍牙技術演進成 5.0 後，其訊號傳輸距離與傳輸速率又更精進，並帶有低耗電之優勢，這是相較於其他技術較難達成的，目前足以在低耗電量考量時與藍牙相匹敵的方式為 ZigBee 定位技術，但 ZigBee 定位技術的定位精準度不足，因此藍牙定位為目前較佳之室內定位使用方式。

第五節 機器人探討

機器人意指機械從事人類或其他生物的行為模式，協助或取代理人類的工作，完成高準確度的特定動作。依照不同需求完成各種作業，透過馬達驅動手臂上的動作，精確的傳達至微控制器上。

使機器人具備可偵測或移動等動作模式，協助偵測探勘等工作，在許多不宜人類活動之場域，完成指示任務，避免人員的安全疑慮。以煤礦場為例，研究人員開發了仿生的多足機器人，以蜘蛛為原型設計八足移動，以更快、更靈活地方式穿梭災害場所，大大提升其靈活性與對複雜環境的適應能力。機身依需求搭載不同的感測器，可以檢測現場的溫度、各式氣體濃度、內部即時影像、甚至是聲音輔助，協助完成探測，提供災害地點的位置及相關基本資訊。

機器人的防災系統和救援系統一直倍受關注，為了使災害現場的傷亡減至最低，機器人的雛形也各自有不同的發展。運用於室內場所時，需要使用感知裝置獲取場景影像，透過紅外線感測器或是影像辨識技術避開障礙物。亦可透過 D*(Dijkstra's algorithm)等演算法進行移動路線的計算，不必探明地圖也可進行環境探索，隨時的進行調整 (三津村直貴, 2018)。

機器人類型五花八門，用於消防救災更是需要更多特別的功能，像是履帶行機器人，於災害現場能在複雜地形中行動自如，可適應場域較輪胎型移動更為廣泛。自動避障機器人，對於受災場地具備基本閃避障礙物的能力，可利用超聲波、影像辨識等感知設備進行探索，減少無謂的損害；附含感測功能之機器人，可直接進行無人斥候工作，可搭載各式氣體、溫度、光感等感測器進行量測。懸浮功能之機器人，可利用噴氣、磁浮等能力進行離地探勘，掠過殘骸路段與高低位移處，進行更有效的探勘工作。機身具備隔熱隔化學物質之特殊材質機器人，即使場域全面受害，也能經由此類型機器人短暫承受此危害，進行緊急應變措施。滅火、排煙機器人如圖 2-14，搭載各式滅火、排煙用具之專門機器人，經由專業人員挑選過後，便可在指定場域發揮滅或排煙之最大效益。輕巧類型之機器人，可適應一般機器人無法進入狹隘空間與管道，進行障礙物清除、偵查等工作。甚至是具備飛行功能的無人機如圖 2-15，協助完成高處的偵查工作，具備空中移動之特色，甚至有國外企業將無人機投入救災工作，將消防車連結無人機進行高空滅火工作，可謂機器取代人力的一種代表運用。



圖 2-14 滅火、排煙消防機器人

(資料來源：中國特種機器人網)

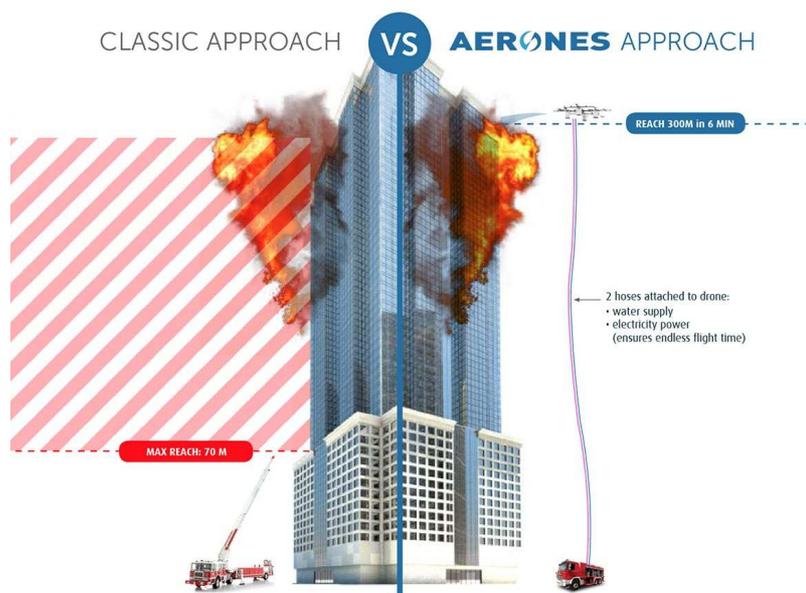


圖 2-15 消防無人機

(資料來源：Aerones)

諸多機器人實驗在火場上搭載多元感知設備進行實際偵測，完成滅火或勘查任務，以避免救災人員的安全疑慮。國內以火災初期達成安全消防目的的研究中，也有以自走車為原型的滅火機器人，以網路攝影機(Webcam)頂替視覺功能，利用影像處理取得火源中心的參數，結合模糊控制器判斷相對距離，進行火災辨識與追蹤，判定為火災時立即撲滅。日本東北大學研發出名為「Dragon Firefighter」的浮空消防機器人原型如圖 2-16，只要管線的末端被固定，透過噴射水柱的推力就能讓噴水管線維持與末端一

樣的高度，可直接由半空中進入火場灌救，末端再配備光學以及紅外線鏡頭，方便消防員作業時掌握火場內部的情況 (Jing & Jian-hui, 2009)



圖 2- 16 浮空消防機器人

(資料來源：日本東北大學)

第三章 極早期火災感知

第一節 人工智慧演算

透過真實數據、環境感知或擬真模擬數據方式來取得環境中起火時的感知數據，而這些數據在尚未經過處理，不僅無法了解其數據的內容，也無法得知環境中變化的狀況，因此本研究透過人工智慧來進行分析提升判斷起火點的探知。

為了能達成此目的，必須要先透過數據清理將所有的數據進行最佳化整理，並將不符合邏輯之數據進行排除後，將有效的數據進行訓練集或測試集的分割，以利後續訓練模型的測試與比對，搭配人工智慧與類神經網路的演算法來建立訓練模型，將訓練集的資料導入模型進行有效的建模訓練，建立出測試模型後，再透過測試集資料來評估訓練模型的準確性與性能是否有任何的誤差，若有誤差則會透過誤差修正與權重調整重新訓練模型，至誤差直到最佳化，完成訓練。

完成訓練的模型則可以使用真實的環境數據或者即時性的環境數據來預測出環境溫度異常是否會對環境造成危害，若是則必須要進行極早期危險感知通報，若否則持續輸入預測，圖 3-1 為人工智慧數據流程的處理流程圖。

一、機器學習

機器學習為一種透過從過往的資料中學習並找到其運行的規則，最後達到人工智慧的方法，包含從母體資料中找到的樣本資料，並透過樣本資料訓練機器辨識出運作模式，而不是用特定的規則編寫運作模式。機器學習同時也是一種弱人工智慧，它從資料(或樣本)中得到複雜的函數(學習)，並利用它來預測母體行為。比擬於一般人類的思維，可想像它從日常生活中選擇模型，再經由資料(樣本)進行學習得到最佳擬合函數以創造現實生活的運作模式，並應用於現實生活中 (周碩彥, 2015)。

1. 監督式學習

提供的資料中同時提供問題的線索與答案讓人工智慧學習，問題解決的方法。針對問題的輸入，使用解決方法(模型)提供問題的答案，如果答案不正確就自動調整解決方法(模型)中的參數。其優點是邊確認答案(輸出)邊調整參數(學習)。同為給機器答

案，讓他學習分類。例如：匯入貓的照片告知機器說「這個是貓」，再給機器狗的照片，告訴機器說「這個是狗」，讓機器自己去學習分辨，接著給予貓或狗的照片，讓機器告訴我們這是貓還是狗。

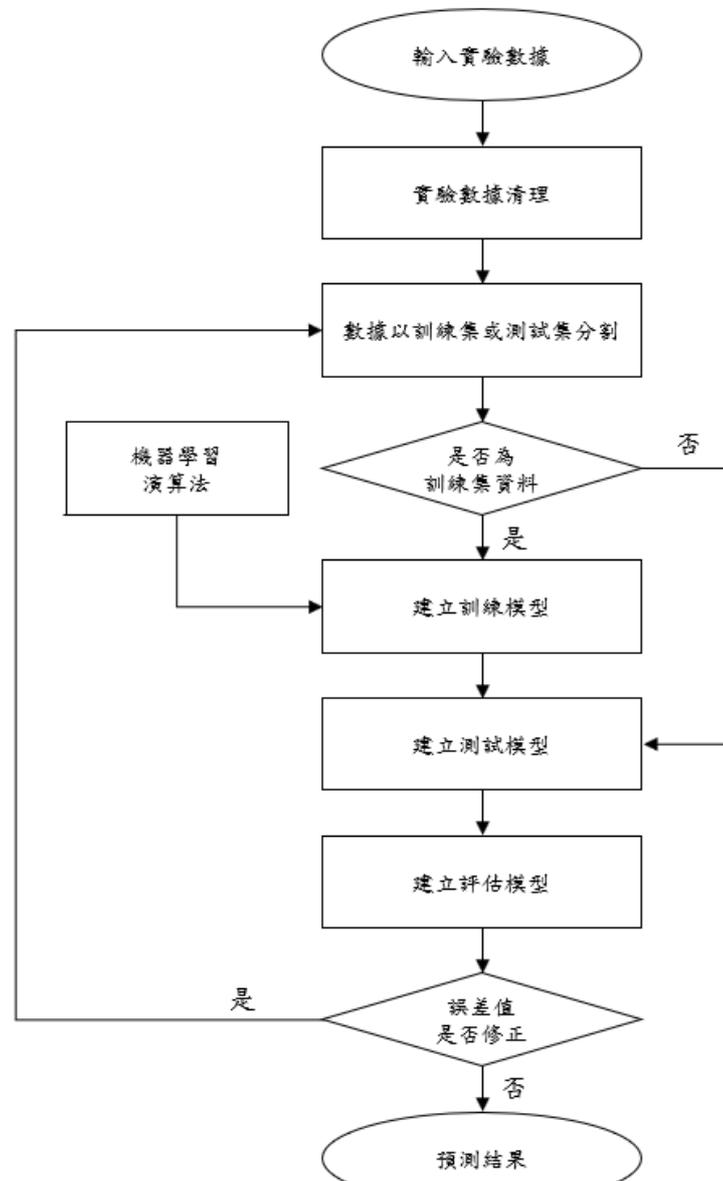


圖 3-1 人工智慧數據處理流程圖

(資料來源：本研究自行繪製)

2. 非監督式學習

並未給定事先標記過的訓練範例，自動對輸入的資料進行分類或分群，即不給機器答案，讓機器自己去學習分類。例如：給機器一堆貓和狗的照片，但並沒有告訴機器說哪些是貓哪些是狗，要機器自己去學習判斷出分類出圖片的不同之處。

3. 半監督式學習

給機器部分的答案，後續再讓機器自行做剩下的分類。例如：任意選 10 張貓或狗的照片，在其中的 1 張告訴機器哪些是貓，哪些是狗，讓機器去學習認識貓與狗的外觀，再自己嘗試把另外 9 張照片內的特徵取出來進行分類。

二、人工智慧預測

預測流程大致可分為建立模型、訓練模型與對模型評分與測試共三階段(圖 3-2)，其中建立模型時需取得預測的相關資料，並準備篩選出可運用的資料，並定義即將進行分析的資料特性，訓練模型時，選定並套用和式之演算法，並開始進行分析運算，對於本案獲得之火場數據，便可預測火災發生的機率。

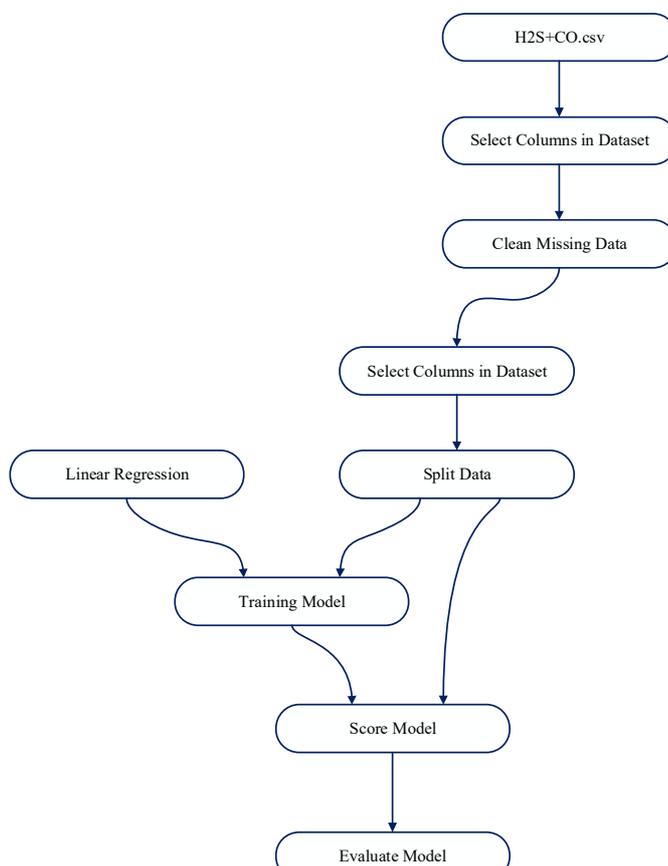


圖 3-2 機器學習模型圖

(資料來源：本研究自行繪製)

第二節 燃燒實驗規劃

承蒙內政部建築研究所的邀請，本計畫有幸與其他相關防火計畫案同時進行室內

模擬燃燒實驗，在此實驗中，預計將蒐集真實燃燒火場室內環境數據與真實感知測試，透過規劃研究發現，可藉由內部多元感知模組來感知現場狀況，傳遞即時資訊，再經由系統式整合，給予主系統各種輔佐判斷之相關資訊，將各種狀況發生時知感測紀錄資訊，儲存置資料庫並加以上傳至雲端系統，以利後續人工智慧演算工程運算。「複合式人工智慧避難引導系統」是一套經由物聯網平台結合各方數據再透過演算法計算出預期成果的早期火場無人斥候系統。本系統整合眾多終端物聯網設備，透過多元感知設備運作獲取所需資訊，本研究預期使用物聯網平台 IoTalk 彙整溫度感測器與多類型之氣體感測器並與藍牙定位裝置，透過平台加以分門別類不同的感測數據，將資料做儲存，傳入至智慧型避難系統，配合隨時更新的感測資訊，進行即時性的演算。

壹、智慧感知

環境感知模組為本系統最不可或缺的一環，扮演系統演算的重要依據，在計畫中我們測量環境中的溫度與各氣體數值，追蹤這些感知裝置的數值變化，依據這些測量的數值變化量，讓系統對於這些異常數值給予示警，所以當各感知模組設置完畢後，感測器便開始回傳場域資訊至物聯網平台，倘若場域發生異常時，回傳之數值將會使監控系統偵測到問題，進而觸發避難程序。

一、多元感知模組

多元感知模組包含諸多環境感知設備，以及上述提及之 Arduino 載板與由樹莓派為主的數據蒐集叢集系統；傳遞資訊的氣體感測裝置皆透過 Arduino 主板提供運作所需電源，溫度感測則另外供電，兩者皆經由 ZigBee 2.4G Module(AppsBee RO)外接模組進行資訊傳輸，設定 Baud Rate 至相同數值，使其得以進行資訊傳遞。所使用之感測器經討論後，使用以下對於火場數值蒐集較有觀測價值之項目，有以下幾種：

1. Multichannel Gas Sensor

經由 USB 連接線提供主板電源並透過 zigbee 擴充板提供 sensor 5V 電力；主板至感測器連結為一條電源線、一條接地線與兩條類比訊號線(圖 3-3)。

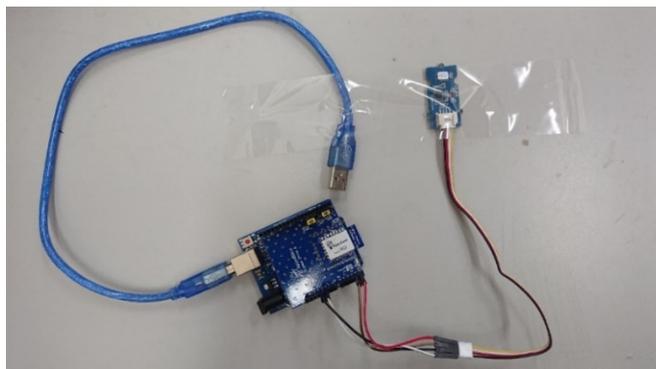


圖 3- 3 Multichannel Gas Sensor 實際連接圖

(資料來源：本研究自行繪製)

2. MQ-136 H₂S(硫化氫) Sensor

經由 USB 連接線提供主板電源並透過 zigbee 擴充板提供 sensor 5V 電力；主板至感測器連結為一條電源線、一條接地線與一條類比訊號線(圖 3- 4)。

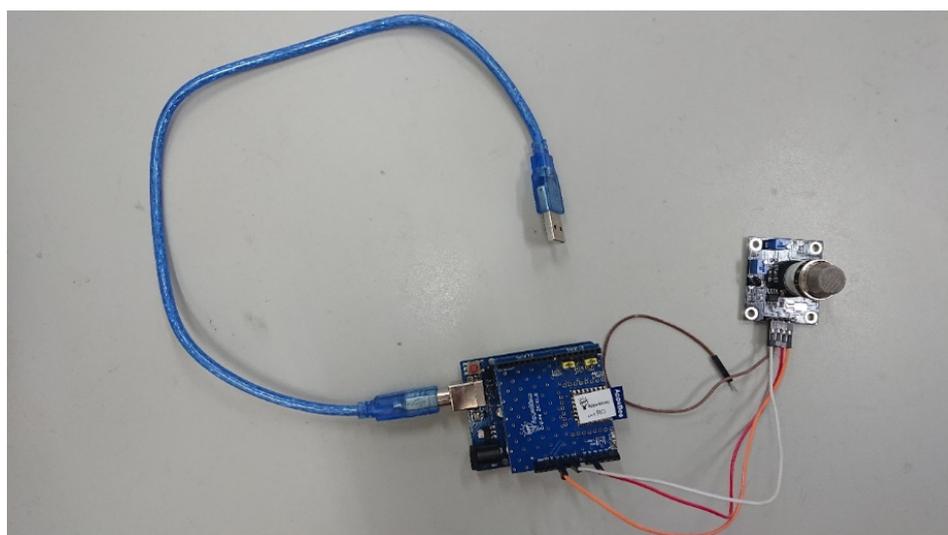


圖 3- 4 H₂S Sensor 實際連接圖

(資料來源：本研究自行繪製)

3. CO Sensor

經由 USB 連接線提供主板電源並透過 zigbee 擴充板提供 sensor 5V 電力；主板至感測器連結為一條電源線、一條接地線與兩條數位訊號線(圖 3- 5)。

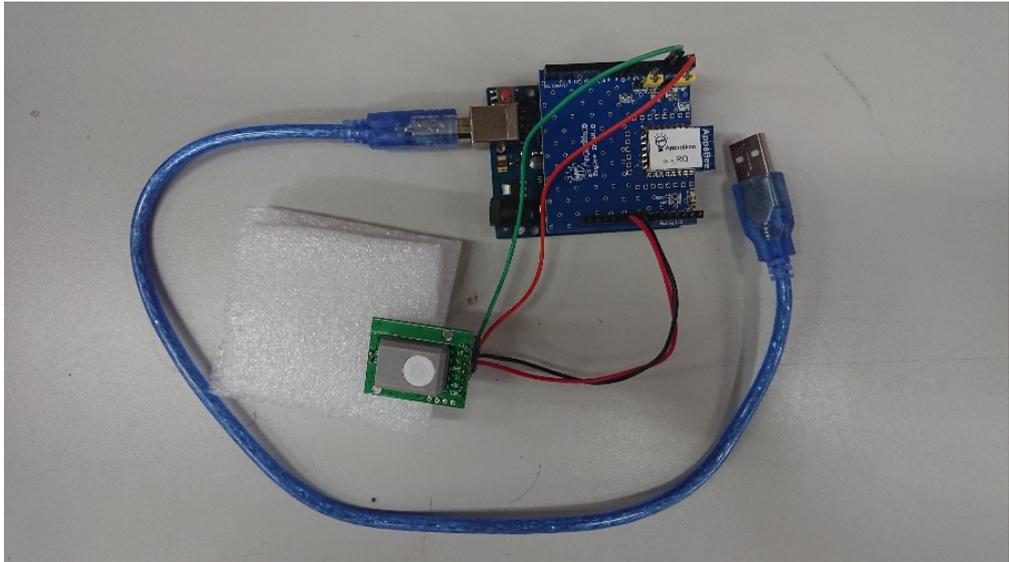


圖 3- 5 CO Sensor 實際連接圖

(資料來源：本研究自行繪製)

4. CO₂ Sensor

經由 USB 連接線提供主板電源並透過 zigbee 擴充板提供 sensor 5V 電力；主板至感測器連結為一條電源線、一條接地線與兩條數位訊號線(圖 3- 6)。

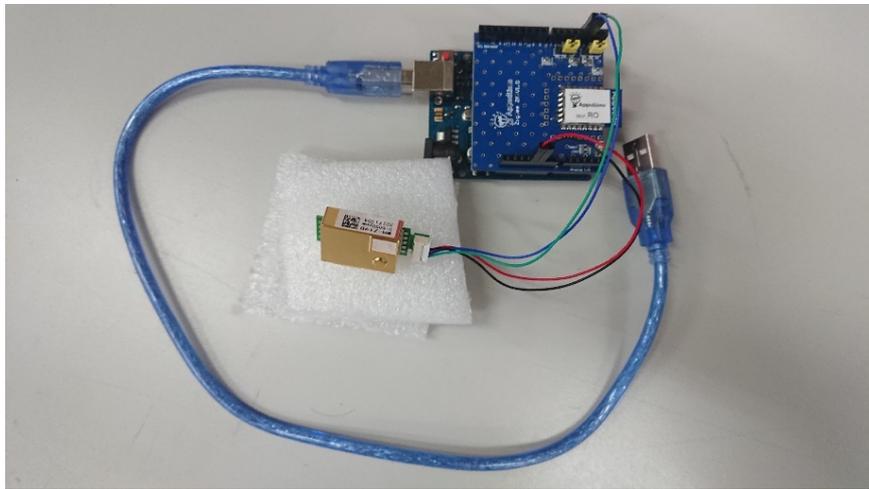


圖 3- 6 CO₂ Sensor 實際連接圖

(資料來源：本研究自行繪製)

5. PT100 溫度感測器

由左方 24V 電源提供電力，透過電源線輸出至溫度轉換器，並與 PT100 溫度感測器連接兩條訊號線，主板方面則予以一條接地線及一條類比訊號線(圖 3- 7)。

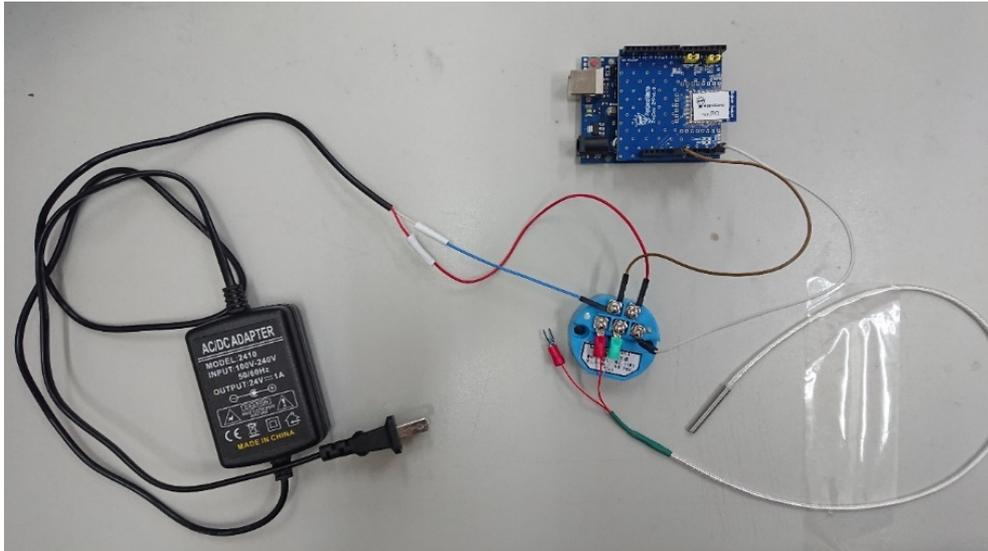


圖 3-7 溫度感測器實際連接圖

(資料來源：本研究自行繪製)

數據蒐集叢集系統組成為 Raspberry Pi 3B +、可連網之行動或無線網路、Arduino UNO R3、ZigBee 2.4G Module(AppsBee CO)，將回傳資料運用 Raspberry Pi 中的 Python 方式進行資料上傳，將所有資訊傳回至 IoTtalk 中，其實際連接圖如圖 3-8。



圖 3-8 資訊叢集協調端實際連接圖

(資料來源：本研究自行繪製)

本研究使用以上 5 種感測裝置作為資料蒐集的媒介，其中 Multichannel 目前使用來蒐集 NH₃、NO₂ 等氣體，其餘皆針對特定物質做數據接收。由感測器連接 Arduino 底板，並由 Zigbee 擴充板傳輸，再由連接至樹莓派的 Zigbee 做接收，接收的數據使用樹莓派 4G 模組如圖 3-9，使用網卡方式將資料上傳至 IoTtalk 平台，同時儲存到資料庫。



圖 3-9 樹莓派 4G 模組連接圖

(資料來源：微雪百科)

本研究將該系統所使用之工作版、感測器與其相關設備之相關資訊整理為感測元件一覽表如表 3-1 所示，建構之模組整理表如表 3-2 所示。

表 3-1 感測元件一覽表

	工作溫度
Arduino uno R3	-40~85°C
Zigbee 2.4G 擴充板	-40~85°C
Multichannel Gas 氣體感測器	-10~50°C
CO 氣體感測器	-20~45°C
CO2 氣體感測器	0~50°C
MQ136 H ₂ S 氣體感測器	-10~50°C
PT100 溫度感測器	-200~420°C
溫度 24V 電源轉接	-20~80°C
溫度轉換器	-20~85°C
樹莓派 3 B+	-40~85°C
樹莓派 4G 擴展板 (SIM7600CE)	-30~80°C

(資料來源：本研究自行繪製)

表 3-2 感測模組一覽表

	測量範圍
通訊模組(Arduino uno + AppsBee)	
溫度感測模組	0°C~300°C
CO 感測模組	1~1000ppm
CO2 感測模組	0~5000ppm
H2S 感測模組	1~200ppm
Multichannel Gas 感測器(組)	二氧化氮 NO2 0.05 - 10ppm 氫 H2 1 - 1000ppm 氨 NH3 1 - 500ppm

(資料來源：本研究自行繪製)

貳、物聯網平台

物聯網的各個裝置間，如果需要串流或是連結，時常有可能因為設備的限制，需要進行介面的整合或是經歷額外連線過程，我們可以把物聯網設備依照不同的設備功能或是特徵來做分類，訂定物聯網設備功能(特徵) (device feature, DF)做為特殊的輸入或是輸出功能(capability)，將擁有偵測功能的穿戴裝置稱為輸入功能(input device feature, IDF)，將擁有顯示等功能的穿戴式裝置稱為輸出功能(output device feature, ODF)。

一、IoTtalk

IoTtalk 系統是一個建構於分類設備功能 (device feature) 特徵概念的物聯網設備平台 (Lin, Lin, Huang, Chih, & Lin, 2017)，如圖 3- 10 所示，透過設備連線後定義設備之特性，當物聯網終端設備經由連接至系統時，將會針對各種不同的物聯網感測裝置，由 IoTtalk 系統自動產生或使用相對應的應用軟體來處理，免除了上述提及之介面整合問題，因此在物聯網平台上每一次將設備連接至輸入端至都可以很方便的連接至設備輸出端。

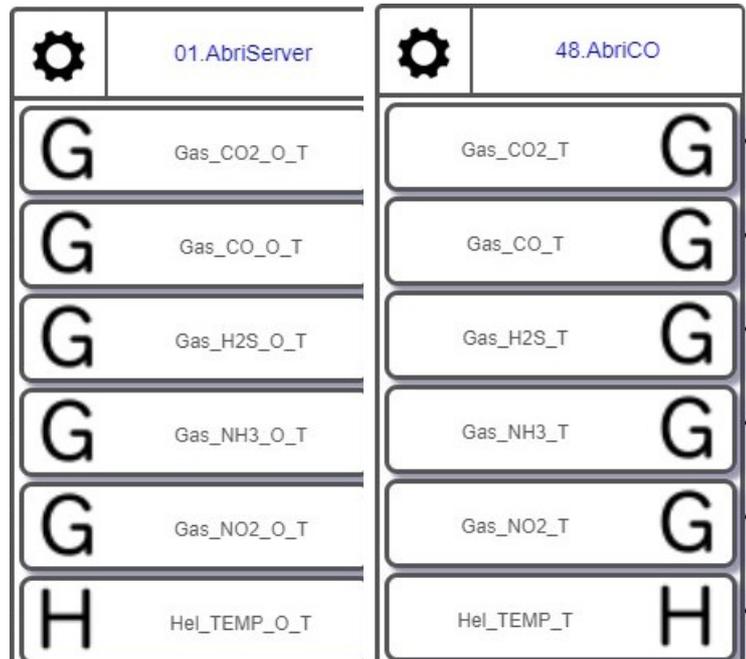


圖 3- 10 IoTtalk 輸入、輸出設備功能圖

(資料來源：本研究自行繪製)

二、平台架構

IoTtalk 可稱為物聯網設備特性管理系統，主要可分成選單(menu bar)、圖形布局視窗(Graphical Layout Window)以及管理視窗(Management Window)三個部分。圖形布局視窗會顯示物聯網設備連線情形，連結成功的設備稱之為連線物件(connection object)。管理視窗讓使用者可以設定圖形布局視窗中的設備功能、連線、以及對應之函數 (Lin, Lin, Huang, Chih, & Lin, 2017)，其設備連接範例如圖 3- 11 所示。

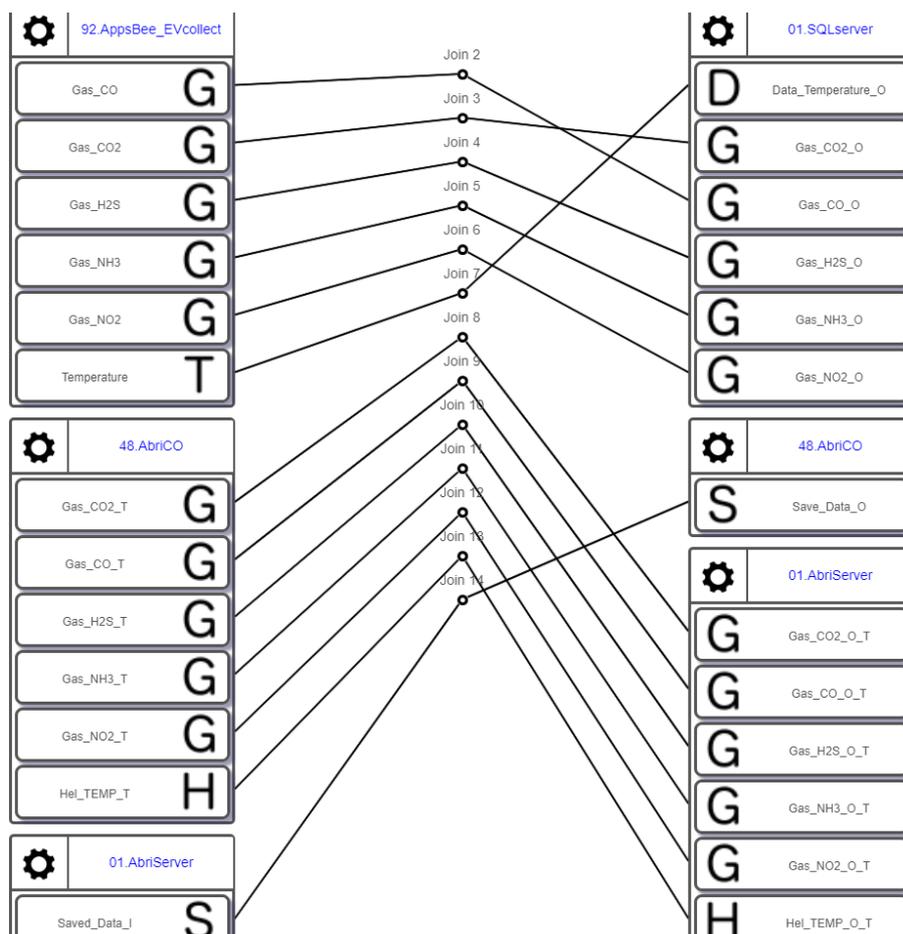


圖 3- 11 IoTtalk 設備連接圖

(資料來源：本研究自行繪製)

當使用者選擇欲使用的物件時，圖形介面會從資料庫中抓取這個設備模式中所有已註冊的設備。假使相同的設備模式有好數個設備已註冊至 IoTtalk 系統平台，則每個註冊的物聯網設備，圖形介面都會在管理視窗中產生一個已註冊的設備列表。完成註冊後 IoTtalk 系統會將實際將設備連結至所指定的設備物件，後續圖形介面將可以不經過選擇的程序，直接取代該物件，連同取消連結時也亦同，註冊成功如圖 3- 12。

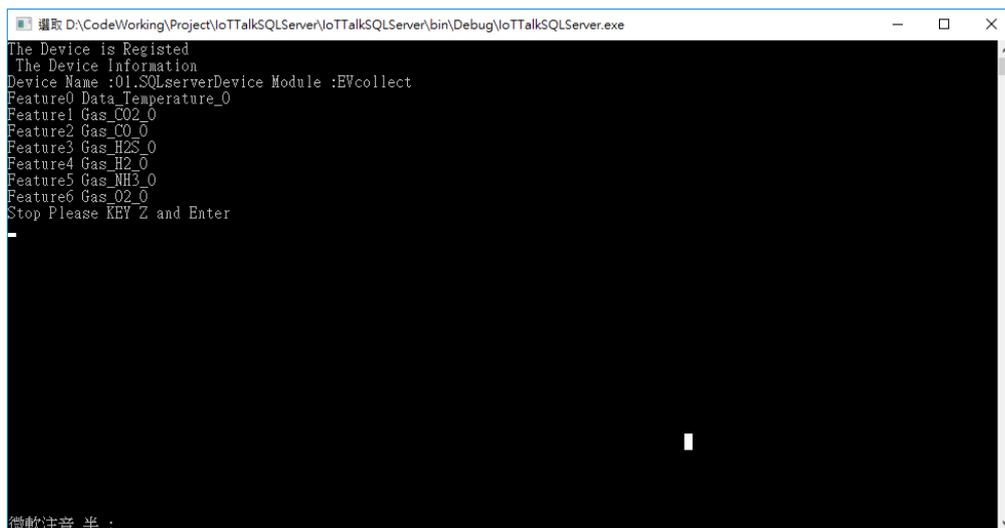


圖 3- 12 IoTtalk 設備註冊圖

(資料來源：本研究自行繪製)

平台中設備相互連接的部分，一個輸入設備功能(IDF)可以經由圖形布局視窗中一個稱之為連結物件(join object)的小圓圈連接至輸出設備功能(ODF)。舉例一條連結只包含一個輸入功能設備則稱之為單一連結(single join)，如果一條連結包含多個輸入功能設備則稱之為多重連結(multiple join)，對於連接至同一個連接點的多個輸出設備功能(ODF)而言，輸入設備功能(IDF)對所有的輸出設備功能所造成的影響都是相同的，所以即使有多個輸出設備功能(ODF)連接至同一個連接點，到最後只有一個輸入設備功能(IDF)連至此一連接點，仍然可稱為單一連結。

本計畫的燃燒實驗應用研究中，使用物聯網平台 IoTtalk 連接目前所規劃的物聯網終端設備，將其所有設備進行設定，在感測裝置運作時，能以系統化方式進行管理，輸入輸出的部分經由分門別類的特性規劃，經由網路傳輸就可以傳送或接收來自物聯網設備的訊息。

三、數據儲存

在 IoTtalk 運作中的感測裝置，其感測出的數據結果，可從伺服器透過物聯網平台進行資料的下載，並根據特定之需求分別處理不同單元進行感測裝置的數據下載，在儲存方面則可選擇採用 linq to SQL 的整合資料庫語言，藉以提升資料庫在儲存時的效率，可避免所需資訊在蒐集時發生儲存不即時而造成遺失的狀況發生。

參、資訊蒐集系統

數據蒐集型態，目前預計由下方標示的 21 個字元所組成的資料型態，進行統一的資訊管理規劃，使各項數據依照名稱或類別的不同，都有相對應的表示方式，以此方式彙整所需數值，並進行數據的儲存以及上傳，彙整資訊型態格式如圖 3-13。

	起始字元	感測器ID		類型		資料量	結束字元	換行
長度	1	4	1	3	1	9	1	1
表示	:	FFFF	-	TEM	-	1234.5678	;	

類型代碼： TEM :溫度
 CO :一氧化碳 CO2 :二氧化碳
 GH2 :氫 NH3 :氨
 H2S :硫化氫 NO2 :二氧化氮

圖 3-13 數據型態表示圖

(資料來源：本研究自行繪製)

一、感測器資訊傳輸

感測器開始運作後，如有異常狀況發生將會啟動重新開啟程序，直到異常判斷消失為止，正常執行時會啟用環境感知功能，進行各類型環境探測資訊蒐集，並由 ZigBee 進行資料的外部傳輸。直到電源關閉得以結束，其流程圖如圖 3-14。

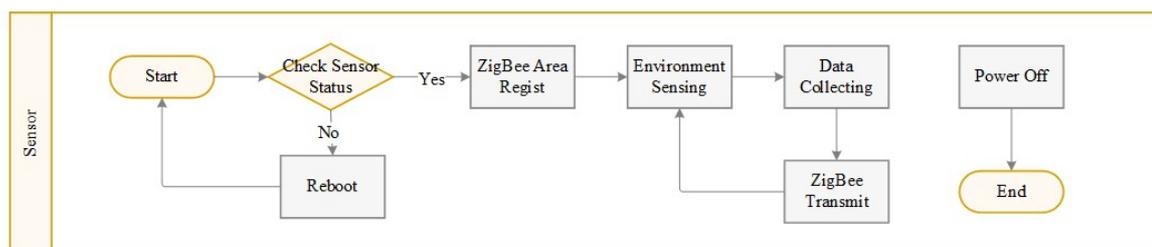


圖 3-14 感測器資訊傳輸流程圖

(資料來源：本研究自行繪製)

二、樹莓派資訊傳輸

樹莓派開始運作後，將開始確認網路連線狀態以及硬體運作狀況，如有異常會將其重新啟動，直到能正常由 ZigBee 模組接收另一端傳輸過來的資訊為止，將資訊依照其型態特徵，給予資料接收時間排程，依照資料先進先出的結構概念，進行佇列儲存，

再來進行 IoTtalk 物聯網平台的連線確認，如可順利進行連結，便可將以上資訊進行唱傳，便可在進行下一階段之資訊接收，直到電源關閉，其流程圖如圖 3-15。

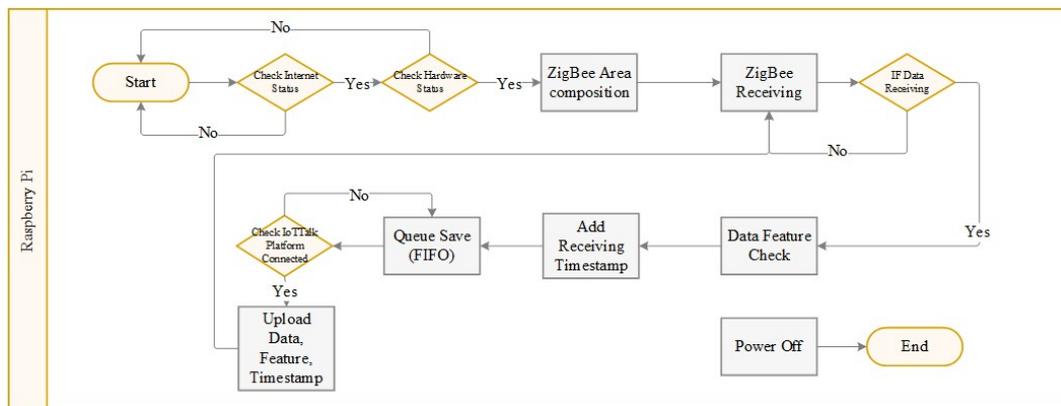


圖 3-15 樹莓派資訊傳輸流程圖

(資料來源：本研究自行繪製)

三、伺服器端資訊傳輸

伺服器端透過物聯網平台 IoTtalk 進行資料的下載，並進行資料儲存，其步驟如圖 3-16 所示，伺服器程式會透過 IoTTalk 平台下載資料，為了讓平台與資料擷取的叢集端能夠順利將資料回傳至伺服器，必須要在伺服器程式中以佇列方式來進行資料接收，將所有的資料逐一接收並且排入佇列當中，讓資料能夠以先進先出的方式來處理所有的資料以防遺漏，而伺服器程式另一端則是來處理佇列資料並將其存入資料庫，會將資料中的相關數據進行切割，並將資料所夾帶的時間戳記進行資料庫時間格式進行轉換，以取得資料感測時的時間，並透過 SQLtoLINQ 技術將資料以模組形式逐一加入資料列表中，並累進數量至定量後一次存取資料表，以降低資料庫儲存之佔據以及記憶體之釋放，以提升伺服器端應用程式的效率，而伺服器端執行是一個無限型的迴圈方式進行執行，只要有數據從 IoTTalk 平台中被下載就會進行處理，直到伺服器被關閉為止，若被關閉則伺服器會完成執行任務結束程式。

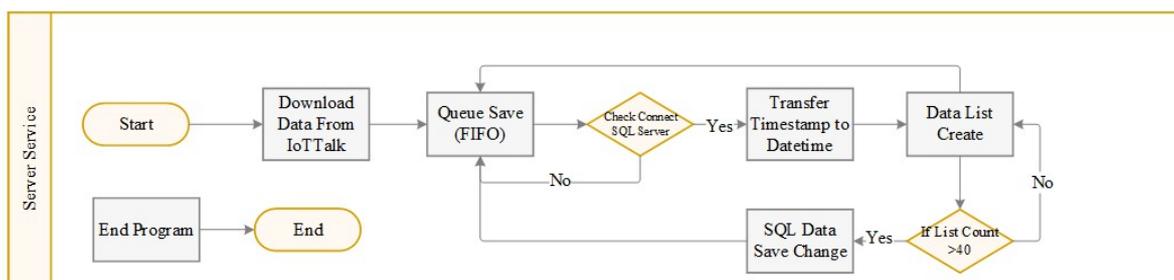


圖 3-16 伺服器端資訊傳輸流程圖

(資料來源：本研究自行繪製)

肆、場域規劃

本實驗為共同參與「長照機構居住權使度火災特性實驗及應用研究」(計畫編號：108301070000G0011)之場域燃燒模擬實驗，場地由內政部建築研究所歸仁防火實驗中心提供。

一、規劃構思

以衛服部台北醫院附設護理之家於 2018 年發生火警事故為出發點，考量長構機構近六年來發生六起火災重大事故，約莫 40 餘人不幸罹難之災例，對於護理機構之場域火災成場變化，進行實地演練探討，並驗證複合式人工智慧避難引導系統的場域資訊接收，提升避難預警的成效性。

二、規劃資訊

實施地點：建研所歸仁防火實驗中心

佈設時間：108.5.26 上午 8:30~11:00

場域地圖：如圖 3- 17

環境感知模組設置：

溫度感測模組：PT100 溫度感測器 4 組、Arduino 主板 4 組，ZigBee 擴充板 4 組

氣體感測模組：Multichannel 感測器 4 組、H2S 感測器 4 組、CO 感測器 4 組、CO2 感測器 4 組、Arduino 主板 12 組，ZigBee 擴充板 12 組

數據蒐集叢集系統：樹莓派 1 組、4G 傳輸模組 1 套、4G 網卡一張

而本研究也將整體系統結構，進行整理並將繪製為實驗系統架構圖，如圖 3- 18，由該系統可以看出整體系統結構的流程運作以及使用之通訊技術，皆已不同的方式來區分，包含感測器透過訊號線連接至 Arduino 主板、ZigBee 擴充板之間進行無線傳輸、樹莓派 4G 網路傳輸，以及 IoTtalk 平台資料的上傳與下載。

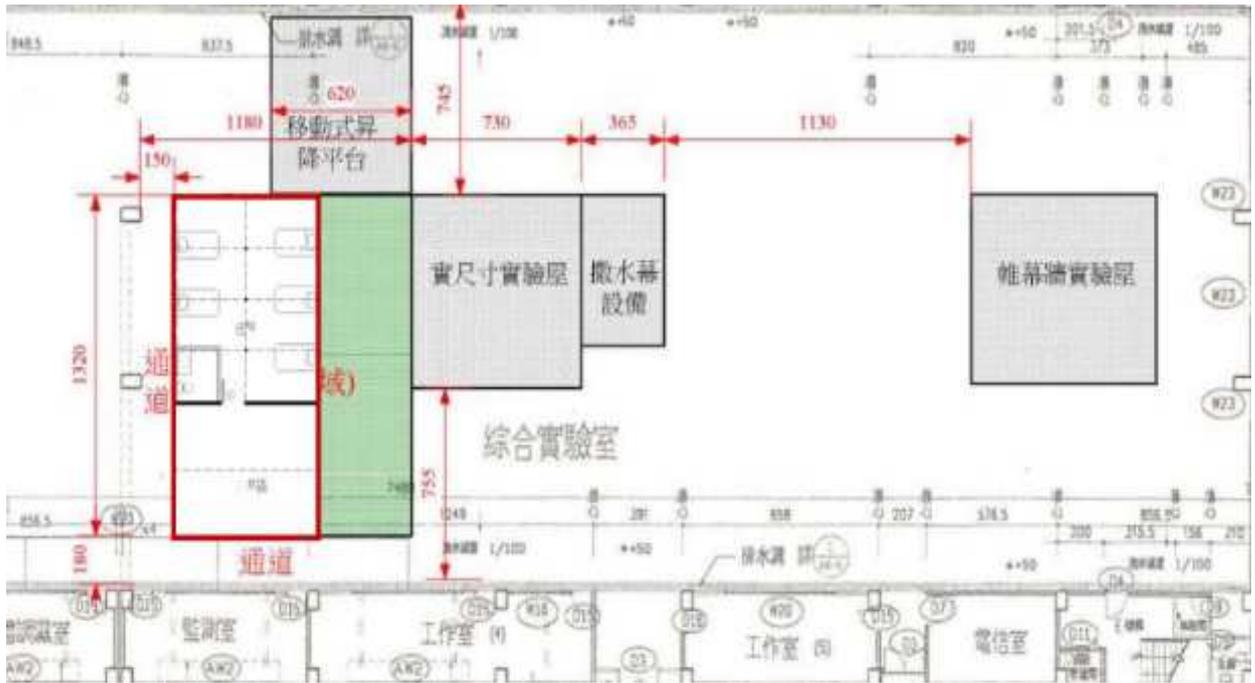


圖 3-17 實驗場所室內平面圖

(資料來源：內政部建研所)

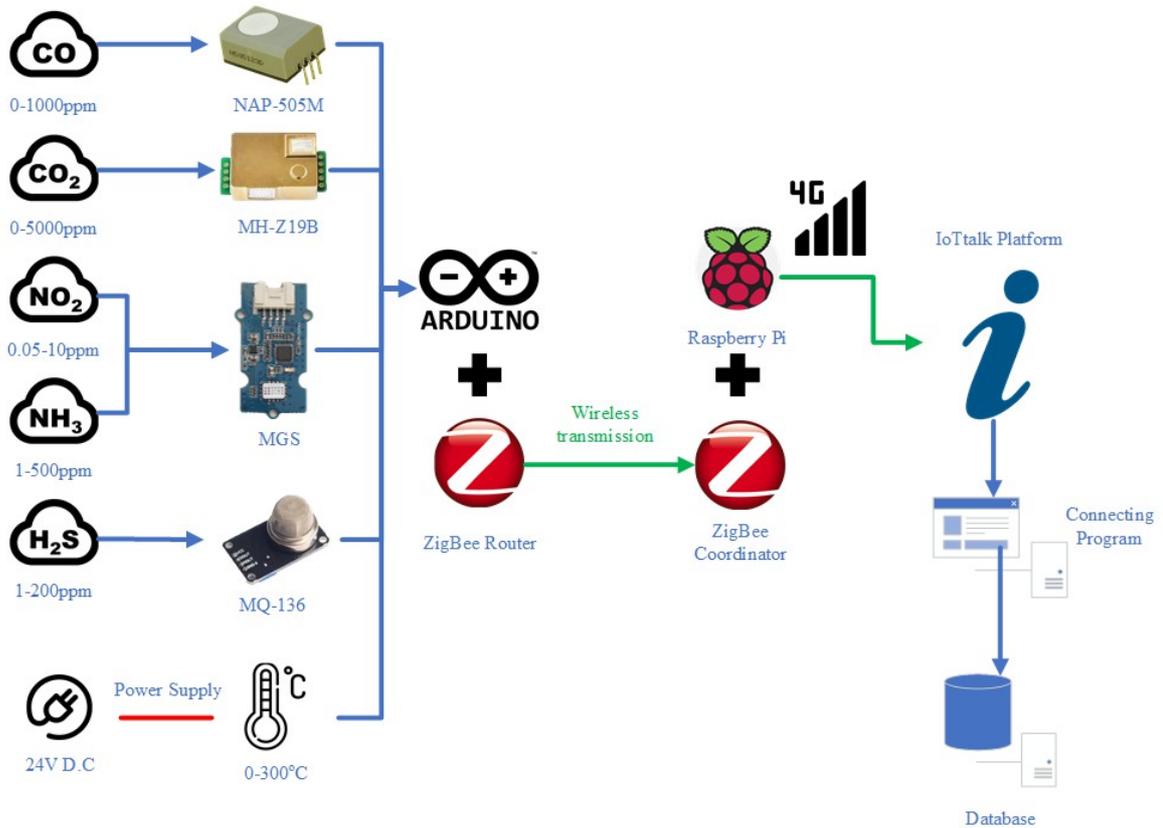


圖 3-18 實驗系統架構圖

(資料來源：內政部建研所)

三、資料蒐集方式編排

本團隊依照感測器設置提案，使用不同數量感測器使用方案選擇中，依照圖 3-19 之配置圖，決議使用 4 組氣體感測器、4 組溫度感測器、1 組數據蒐集叢集系統作為場域實驗佈署方案如圖 3-20。

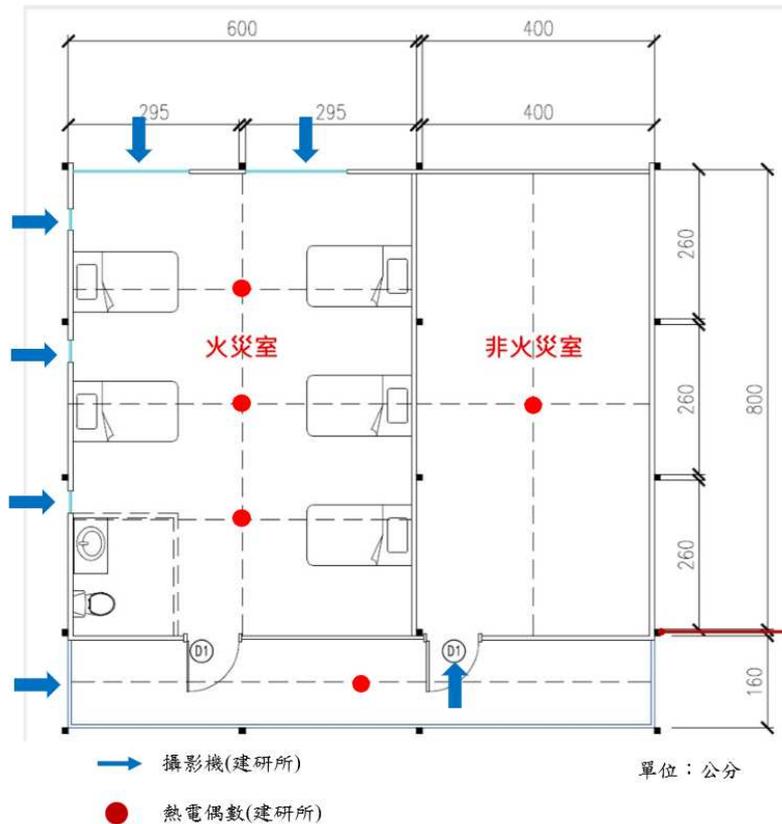


圖 3-19 實驗場所配置圖

(資料來源：內政部建研所)

1. 溫度類組：每一溫度感測器搭配 1 組 Arduino 主板與 1 組 ZigBee 擴充板(RO)，於火災室佈署 3 組溫度感測模組，非火災室佈署 1 組溫度感測模組。
2. 氣體類組：Multichannel 感測器與 H2S 感測器搭配 1 組 Arduino 主板與 1 組 ZigBee 擴充板(RO)、每一 CO 感測器搭配 1 組 Arduino 主板與 1 組 ZigBee 擴充板(RO)、每一溫度感測器搭配 1 組 Arduino 主板與 1 組 ZigBee 擴充板(RO)，於火災室佈署 4 組氣體感測模組。
3. 傳輸類組：樹莓派 1 組搭配 4G 傳輸模組 1 套與 4G 網卡一張，於非火災室外側外牆上裝設一組數據蒐集叢集系統。

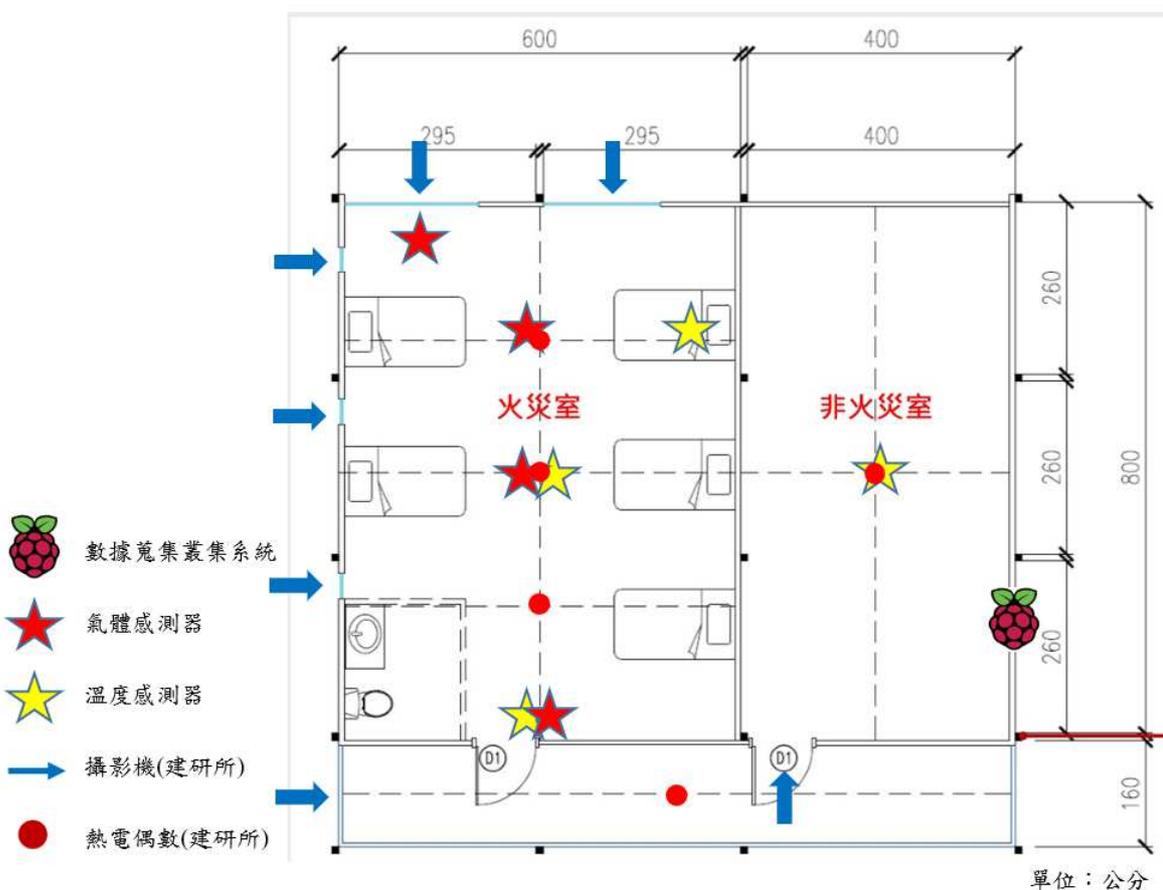


圖 3-20 感測器位置配置圖

(資料來源：本研究自行繪製)

四、架設要領說明

(一)設備連接處理：

連接感測器與主板兩端的訊號線稱為杜邦線，訊號線長度決定感測裝置可延伸的距離，內部由 12 條細芯線組成，外部為 PVC 材質，對於此實驗屬於較不穩固之線路，因次只保留兩端杜邦頭的部分，中間線路以四芯電話纜線作為替代線路，以焊接方式連接，使訊號線路徑多一層纜線外層的防護。

(二)電源供應：

現場實驗屋周圍有提供插座可供給電源，因此使用動力線連接插座，延伸至火災室與非火災室交界處上方，將線路走線於天花板上方夾層，以一條 8 座單切過載斷電延長線方式做分接，依照感測器類型之不同，佈署二或四座延長線插座至設置定點，給予感測模組電力供應需求。

(三)線路隔熱措施：

訊號線中間延伸部分已由電話纜線外層作為外部保護，兩端之訊號線裸露部分則使用 PI 茶色耐高溫膠帶捆繞，耐高溫膠帶以聚醯亞胺(Polyimide,PI)薄膜做為基底，聚醯亞胺為重複單元的聚合物，具有耐溫層面廣、耐化學腐蝕、高強度等優點，為一種特種工程材料廣泛應用在微電子、奈米、液晶等領域，採用硅膠黏劑達到不同耐溫之等級，具有耐高溫、電器絕緣等特性，適用於線路板焊錫遮蔽、線圈包紮、線路固定與外層絕緣等。

(四)主板隔熱措施：

火勢產生之熱氣會經由膨脹原理向上竄升，天花板平面將首當其衝，因此架設於天花板平面上之硬體主板，如毫無防備將會在短時間內失去工作能力，由於一版主板承受溫度不足攝氏百度，因此使用陶瓷纖維棉作為底層架高，盡可能隔絕火源或熱源滲透，陶瓷纖維是指一種纖維狀輕質耐火材料，具有重量輕、耐高溫、導熱率低等優點，主要富含氧化鋁、氧化矽等氧化物材料，相較其他防火棉，比熱係數更小，約可耐溫攝氏 1260°C。

五、實驗預期結果

1. 獲取火災早期溫度氣體變化狀況。
2. 各感測模組之間資訊傳輸配合情形。
3. 場域資訊接收至物臉網平台，進行儲存及上傳時所耗費時間。
4. 平台整合特定資料型態對於系統之效益。
5. 本系統對於火場實地數值偵測蒐集之研究價值。
6. 紅外線熱顯像儀相對於一般攝影機之比較

六、佈署過程

本研究共計進行一次場地勘察以及兩次實驗設備佈署架設，在第一次場地勘查中，測量實際感測器佈署位置，並計算空間內對於各個感測裝置所需延伸的範圍。以火災

室與非火災室交界為出發點，對於延長之方式提出訊號線延長或是電源線延長之方式。場佈階段，藉由研究測試與討論之結果，於場地進行電源線的佈署，將動力線拉至兩室交界處進行分支，由 8 座單切過載斷電延長線依照氣體與溫度之不同，延長 4 座以及 2 座延長線至佈設定點，且在動力線留一分支供給數據蒐集叢集系統作為電源使用，並針對第三次工作會議之建議，使用紅外線熱像儀於特定方向進行與一般攝影機之比較，因而進行熱像儀之軟硬體設置，將錄像檔案經由記憶卡或是影像擷取卡方式進行儲存。第二階段場地佈置，將分類完畢之感測器進行安裝，溫度感測模組架設於定點 YUT1~ YUT4，氣體感測模組架設於定點 YUG1~ YUG4，主體接架設於天花板上方，只開一個洞讓感測器線路足以通過，使感測器在天花板面進行固定，並將縫隙填滿避免造成實驗進行時影響煙流等情形發生；上方主板與線路則由陶瓷棉進行架高防護，避免直接接觸，走線布置方式如圖 3- 21。

本計畫自第一次工作會議始，建築研究所便提及參與場域實驗之機會，使本研究可蒐集實際火場初期燃燒之珍貴資料，以獲得可貴的數據成果，在本次實驗中研進行了許多攝影擷取實驗過程，燃燒實驗過程中的規劃以及測試，設立 YUT1~YUT4 之溫度感測器與 YUG1~YUG4 之氣體感測器，並記錄延長線路距離公分數，如圖 3- 22 至圖 3- 31。

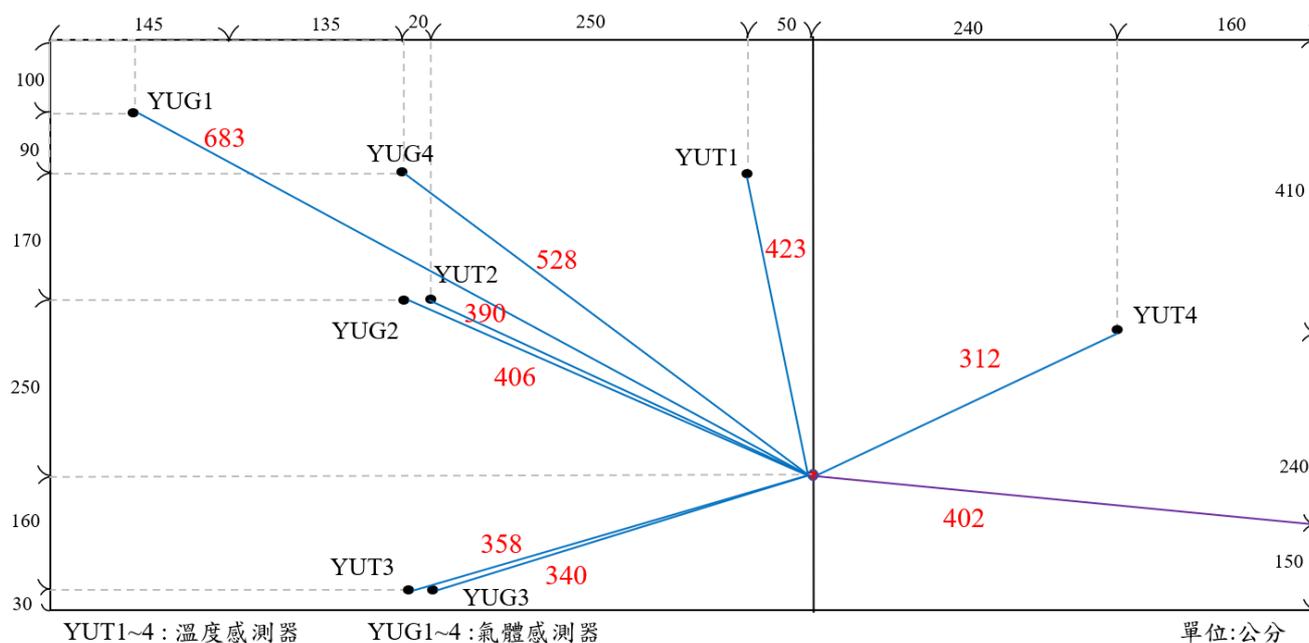


圖 3- 21 感測模組線路規劃圖

(資料來源：本研究自行繪製)



圖 3-22 勘察場地整體結構

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-23 勘察內部空間規劃

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-24 場勘天花板上方可進行架設空間
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-25 感測模組預定架設位置
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-26 天花板上方電源延長方式

(資料來源：本研究自行拍攝)

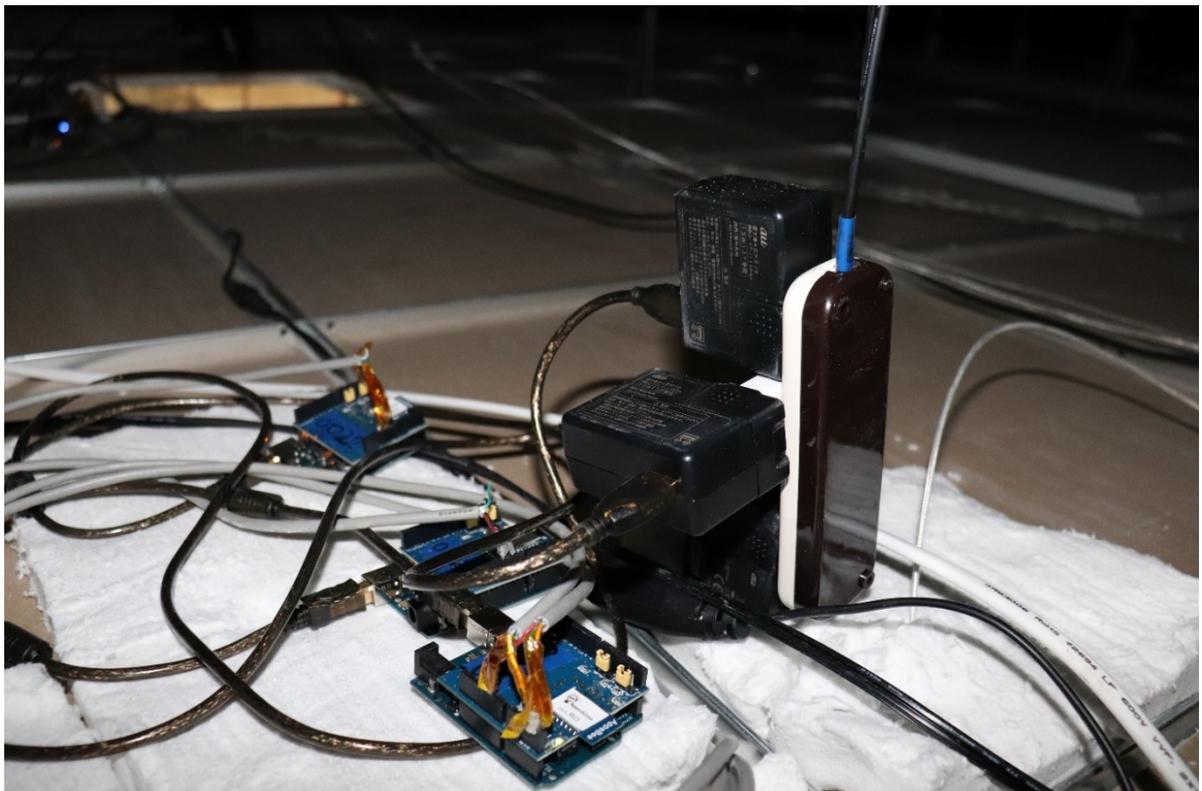


圖 3-27 主板接電運作與隔熱防護

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-28 動力線佈設

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-29 感測器架設施工過程

(資料來源：本研究自行拍攝)

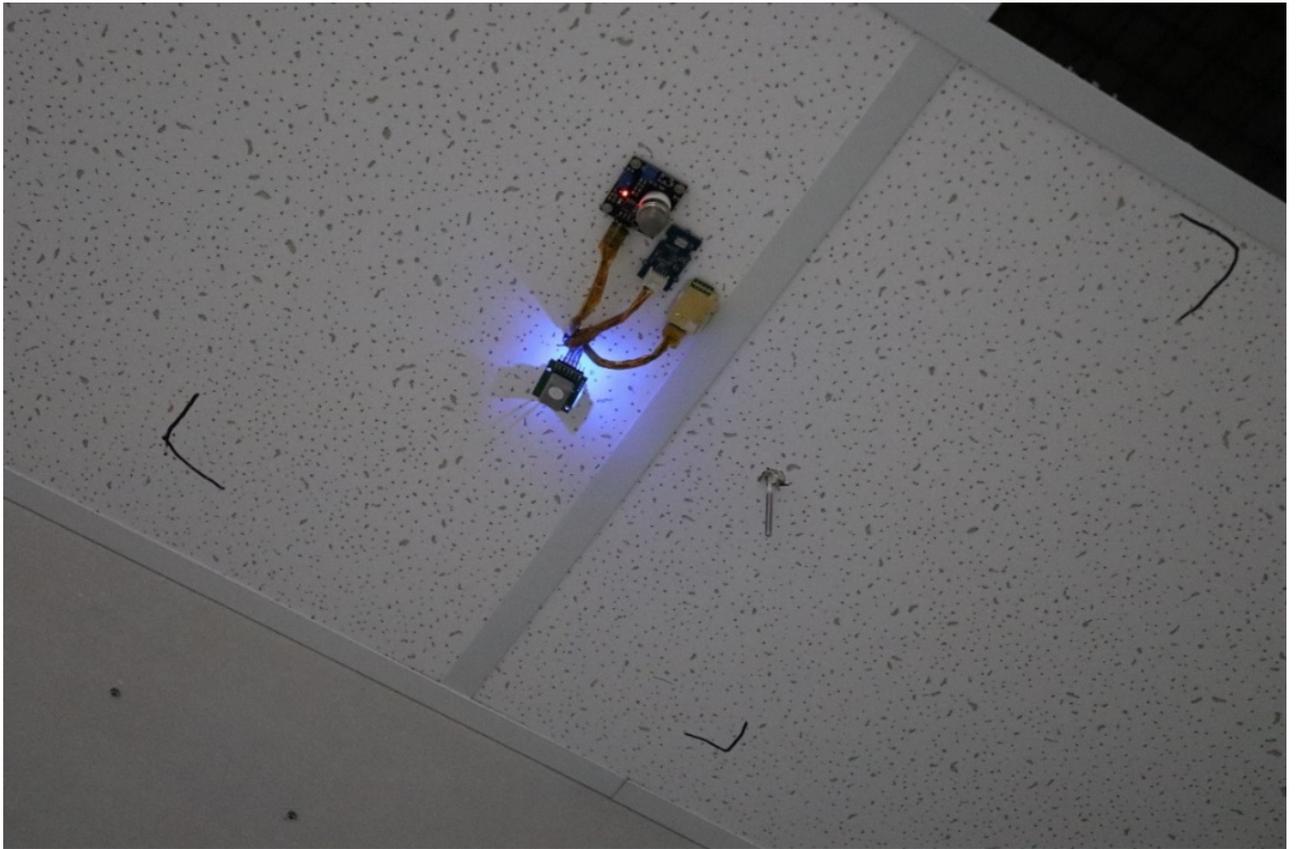


圖 3-30 感測模組架設完畢實際運作情形
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-31 感測模組更換與測試
(資料來源：本研究自行拍攝)

第二節 燃燒實驗資訊

藉由參與台南防火中心場域燃燒實驗，本研究團隊獲取許多資訊，包含感測數據、火勢成長畫面，煙流、熱對流發展方式、熱顯像畫面等，可供後續研究參照，並給予人工智慧演算系統，提供相當重要之參考資料，同時也可供後續資料統整時製作列表。

透過第一次實驗，蒐集到火場溫度以及各式氣體濃度的變化情形，以及火勢變化之攝影畫面，並發現原先不足與需補強之處，將感測主板防護升級，並對於攝影畫面更為要求，盡可能去除玻璃遮擋之阻礙，盡所能的紀錄實際燃燒時震撼的畫面，如圖 3- 32 至圖 3- 43。



圖 3- 32 熱顯像儀架設

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-33 紅外線攝影機架設-1

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-34 紅外線攝影機架設-2

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 35 場域燃燒後之感測模組

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 36 場域燃燒後之天花板空間

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-37 場域燃燒後之主板供電設備
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-38 陶瓷棉隔熱措施
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-39 燃燒後場域拍攝圖

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-40 熱顯像儀設備設定

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 41 紅外線攝影機畫面測試

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 42 燃燒實驗事前說明-1

(資料來源：本研究自行拍攝)

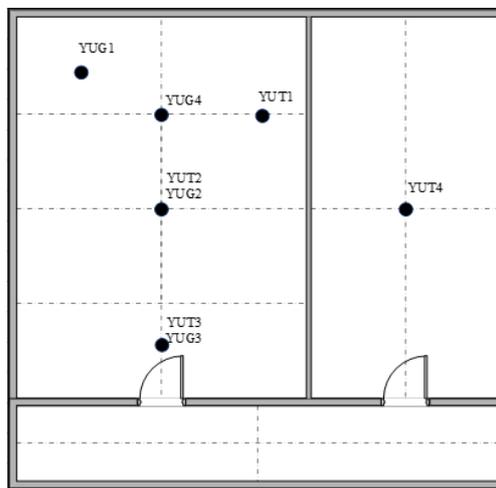


圖 3- 43 燃燒實驗事前說明-2

(資料來源：本研究自行拍攝)

壹、感測數據

對於安裝於燃燒場域之溫度、一氧化碳、二氧化碳、氨氣、硫化氫、二氧化氮進行資料蒐集，並記錄感測數值時間，將燃燒時間區段數值圖表式呈現，氣體感測器設置圖 3- 44 之 YUG1~YUG4，溫度感測器設置如圖 3- 44 之 YUT1~YUT4，使實驗結果展示時更淺顯易懂，並依照相同時間軸進行各項數據比對，從中找尋可能之影響因素。



YUT1~4：溫度感測器 YUG1~4：氣體感測器

圖 3- 44 燃燒實驗感測器架設圖

(資料來源：本研究自行繪製)

(一)溫度數值

圖 3- 45 顯示出，環境火勢與溫度之關係，使用 PT100 溫度感測器及溫度轉換器進行量測，感測 0~ 300°C 溫度變化，溫度伴隨火勢大小起伏變化，燃燒後 3 分鐘紀錄

火勢為 1 米高，3 分半紀錄火勢為 1.5 米高，4 分鐘時火勢達 1.8 米高，同時煙層也下降至離地 1.8 米高，約 11 分鐘火勢達最旺盛的狀態，期間內溫度直線上升，最靠近火源之 YUT1 測量最高溫約達 288°C，位於非燃燒室之 YUT4 則始終未有明顯溫度起伏。

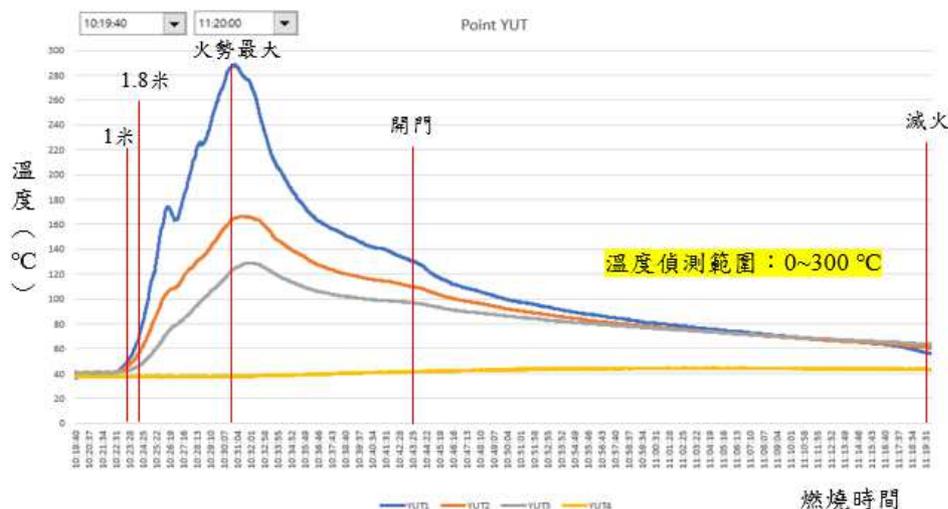


圖 3- 45 燃燒實驗溫度變化圖

(資料來源：本研究自行繪製)

(二)一氧化碳數值

一氧化碳為火災最具代表性的氣體之一，其數值變動可約略看出火災發展之形勢，如圖 3- 46 顯示出在燃燒實驗中一氧化碳是變化最明顯之氣體；使用一氧化碳感測器 NAP-505M，量測 1~1000PPM 間的數值變化，火勢開始約 10 分鐘後所產生之中央數值曲線凹陷處，與溫度數值相比對後，可推論說感測器主板在這段時間因超過工作溫度，因而導致數據回傳不正確；後半段數值下降處則是因此時間點燃燒室的門被開起。

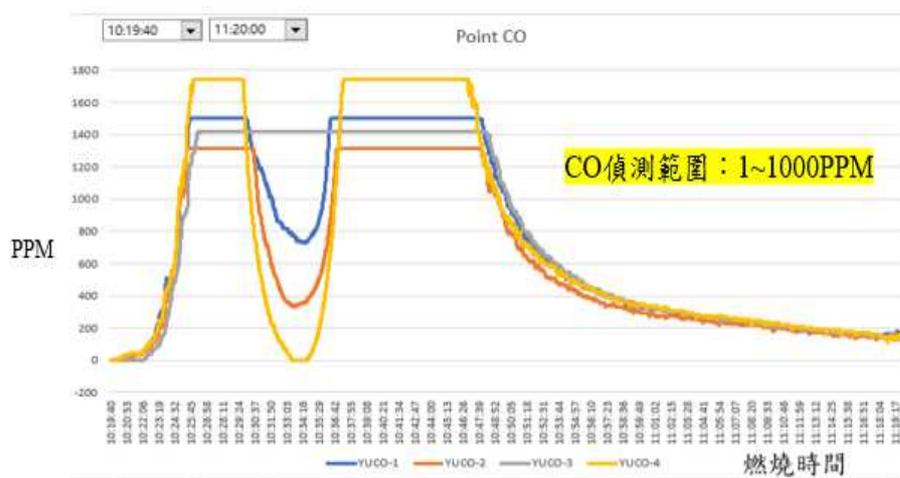


圖 3- 46 燃燒實驗 CO 變化圖

(資料來源：本研究自行繪製)

(三)二氧化碳數值

二氧化碳為火災最具代表性的氣體之一，如圖 3-47 顯示出從起火開始二氧化碳的濃度持續上升感測器的特性及現；使用二氧化碳感測器 MH-Z19B 量測 1~5000PPM 間的數值變化，火勢開始約 4、5 分鐘時二氧化碳數值便以達到感測器測量上限，因此感測器為光學式設計，因此當數值超過上限後，此設備將有損毀之疑慮，因此後續數值便不具有參考價值；火勢開始約 10 分鐘後所產生之中央曲線凹陷處，以溫度數值推論，可歸納為感測器或主板因超過工作溫度所造成。

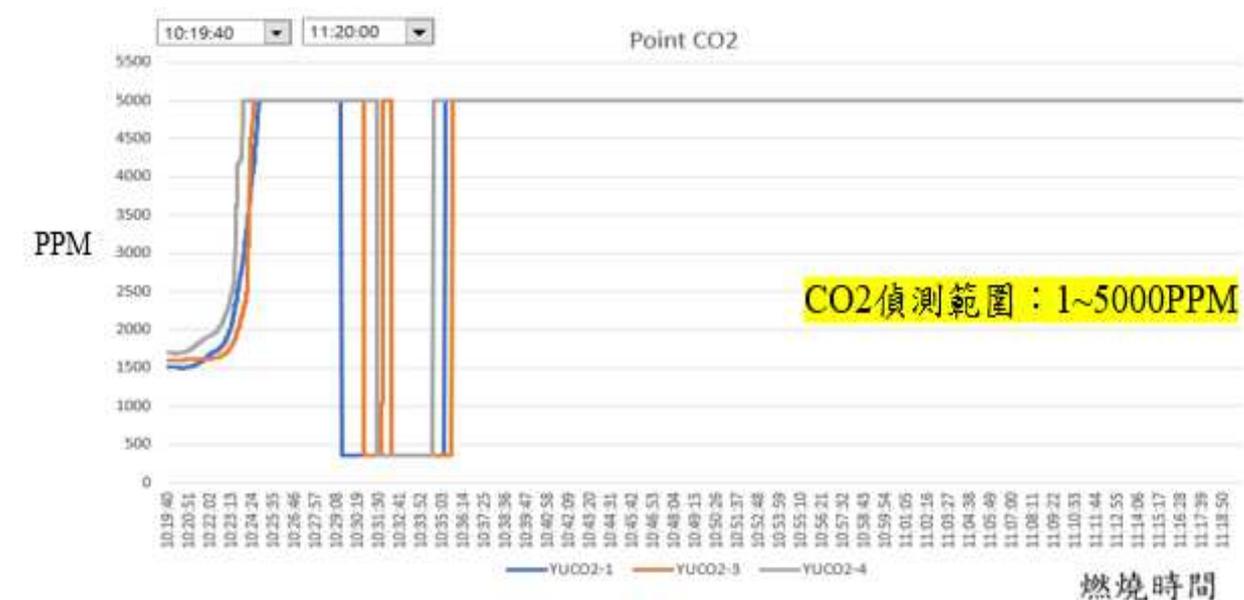


圖 3-47 燃燒實驗 CO2 變化圖

(資料來源：本研究自行繪製)

(四)氮氣數值

氮氣數值會因火場燃燒物品材質而變動，如圖 3-48 可以顯示出氮氣氣體的產生以及輝發後之狀況。本次實驗使用 Multichannel Gas Sensor 感測 1~5000PPM 之間的氮氣變化，可觀測出此數值在火場關門期間有上升趨勢，推論此場域有燃燒後會產生氮氣的物質。

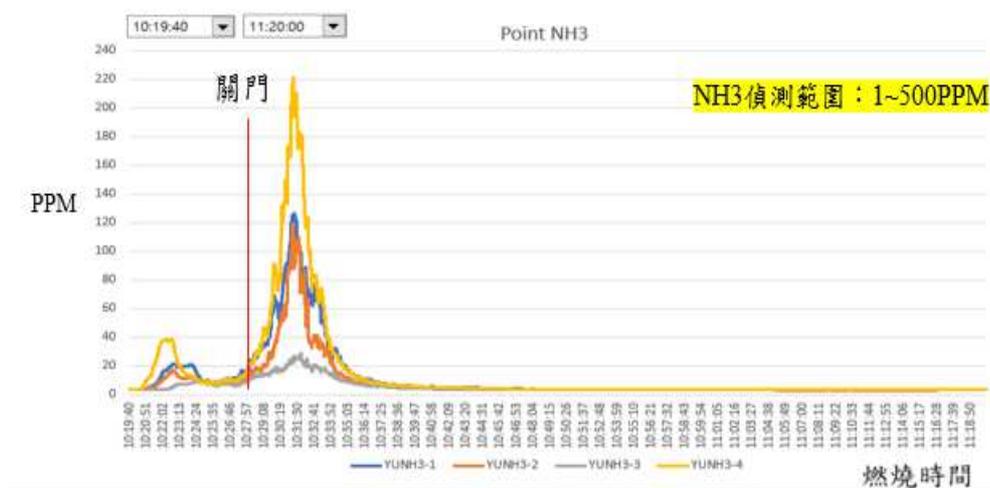


圖 3- 48 燃燒實驗 NH3 變化圖

(資料來源：本研究自行繪製)

(五) 氮氣數值

氮氣感測器在本次測量之濃度區間變化相對較小如圖 3- 49 顯示出氮氣於火場環境中的濃度極低，本次實驗使用 Multichannel Gas Sensor 感測 0.05~10PPM 間的氮氣變化，並可透過高倍率尺表可略為觀測出開、關門與滅火時可造成此氣體些許影響，整體來說此氣體測量效果不彰。

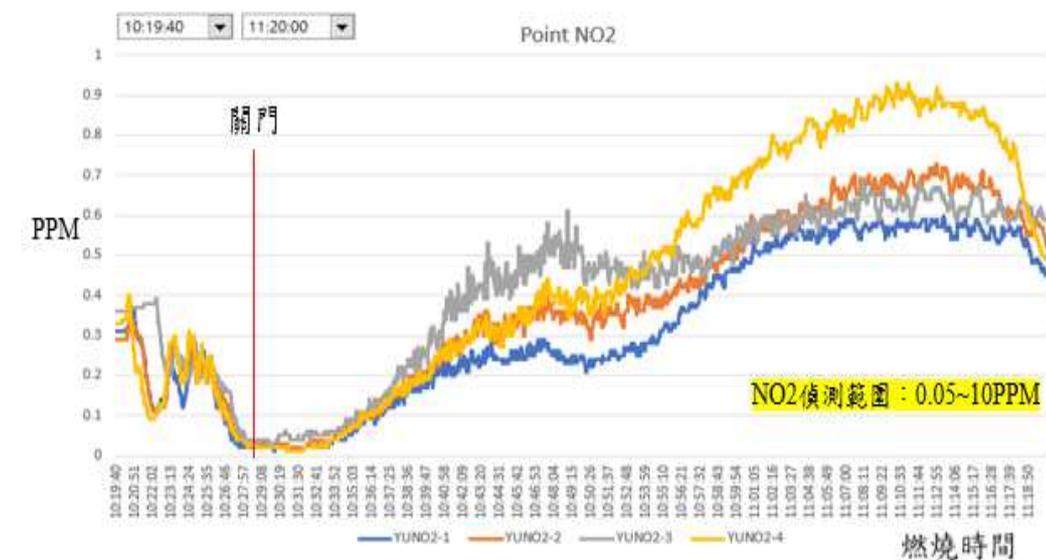


圖 3- 49 燃燒實驗 NO2 變化圖

(資料來源：本研究自行繪製)

(五) 硫化氫數值

本次使用 MQ136 H2S Sensor 感測 1~200PPM 間的硫化氫變化，此氣體濃度在火

災早期便已超過感測器測量範圍，如圖 3- 50 顯示硫化氫雖然已經超過感知範圍，但氣體濃度狀況依舊正常，惟 YUG1 點之感測數值只有此氣體未有正常做動變化，因此推論此感測器已損毀。

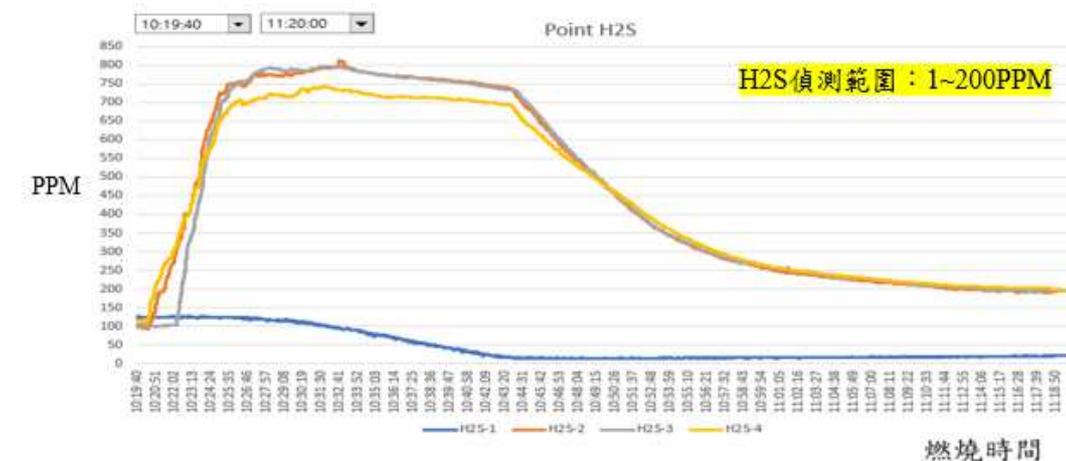


圖 3- 50 燃燒實驗 H2S 變化圖

(資料來源：本研究自行繪製)

感測裝置主板超過工作溫度，導致數據接收有誤，進而造成錯誤資訊回傳，待場域環境趨緩後，部分可繼續進行偵測工作。

第二次實驗之感測數據，因資訊叢集端斷電重新啟動時，樹莓派上之連接埠抓取錯誤，以致重新連接時無法連線，而無法正常接收回傳之數值，樹莓派在每一次的重啟時都會重新分配連接埠位置，本次雖已寫入重新連線接收之程序，但仍會因連接埠錯誤而無法連線，因此後續改為裝設藍牙模組(HC-05)作為接收方式，以便解決第二次燃燒時，因數據蒐集端重新供電，重新搜尋 UART PORT 時，未成功重新連線，造成後續資訊無法繼續回傳的問題。

貳、影像畫面

火勢成長變化也需從旁進行觀測才得以瞭解其變動過程，因此在實驗場域架設多角度的攝影機，盡可能的紀錄火勢成長時，可能發生的變化，除普通攝影外，另外再增加近、遠紅外線，以及熱顯像儀設備，期望能將火勢以及煙流、熱流流動物理特性以及放熱狀況進行攝影紀錄，以利後續技術分析。

遠、近紅外線攝影機、熱顯像儀，本次額外準備的三台熱誠像攝影機，使用 AXIS

Q1910 及 AXIS 221 以及建研所所提供之 FLIR 熱像儀，並使用影像擷取卡之方式將熱顯像儀畫面節錄儲存其設備如圖 3- 51。在兩次場域燃燒實驗中，分別有前門、側窗及後窗的拍攝角度畫面，其中也因側窗及後窗受玻璃帷幕遮擋，受到煙霧微粒遮擋，導致溫度層無法辨識，以致最後拍攝畫面有部分效用不佳。熱顯像儀需調整內部設定，紅外線攝影機則需移動至不受玻璃阻擋之前門角度，便可更清楚拍攝到火點燃燒狀況與煙層流動情形，環境實景攝影圖如圖 3- 52 至圖 3- 67。



圖 3- 51 影像擷取卡

(資料來源：FEBON)



圖 3- 52 攝影機拍攝圖-火勢成長

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 53 攝影機拍攝圖-煙流

(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 54 攝影機拍攝圖-滅火

(資料來源：本研究自行拍攝)

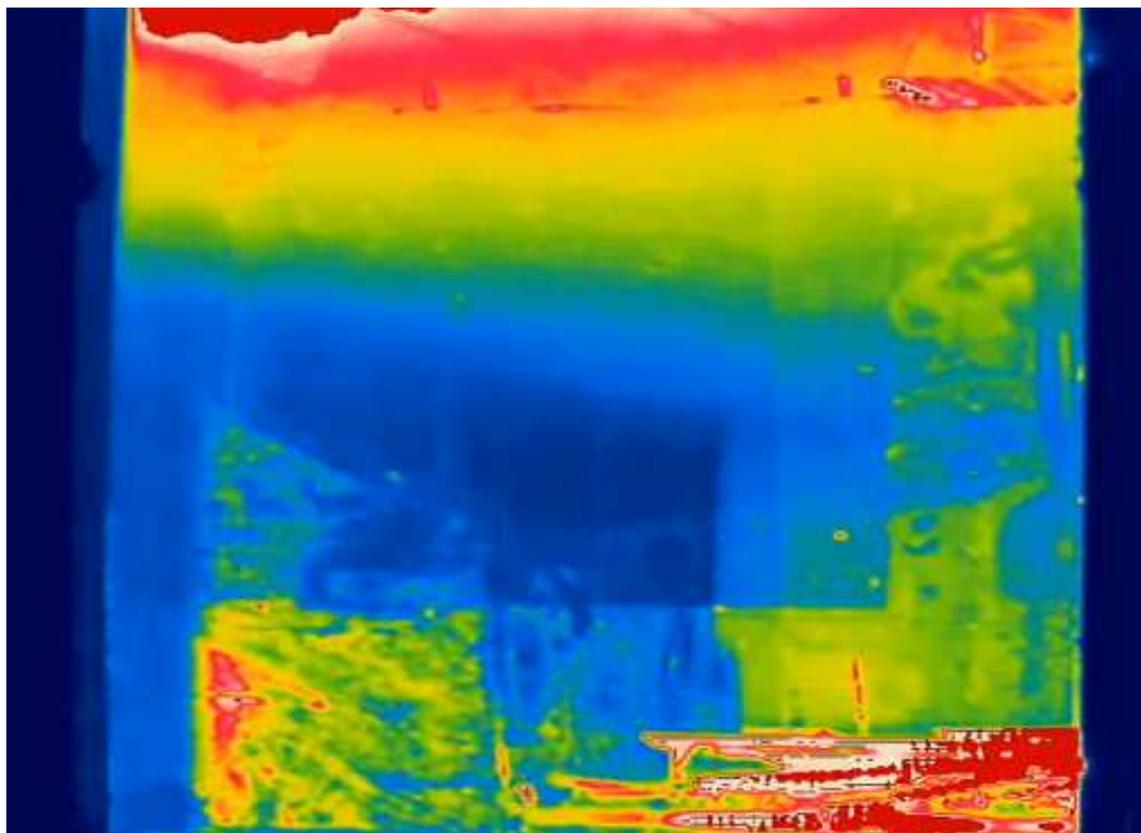


圖 3-55 熱顯像儀拍攝圖-火勢初期
(資料來源：本研究自行拍攝)

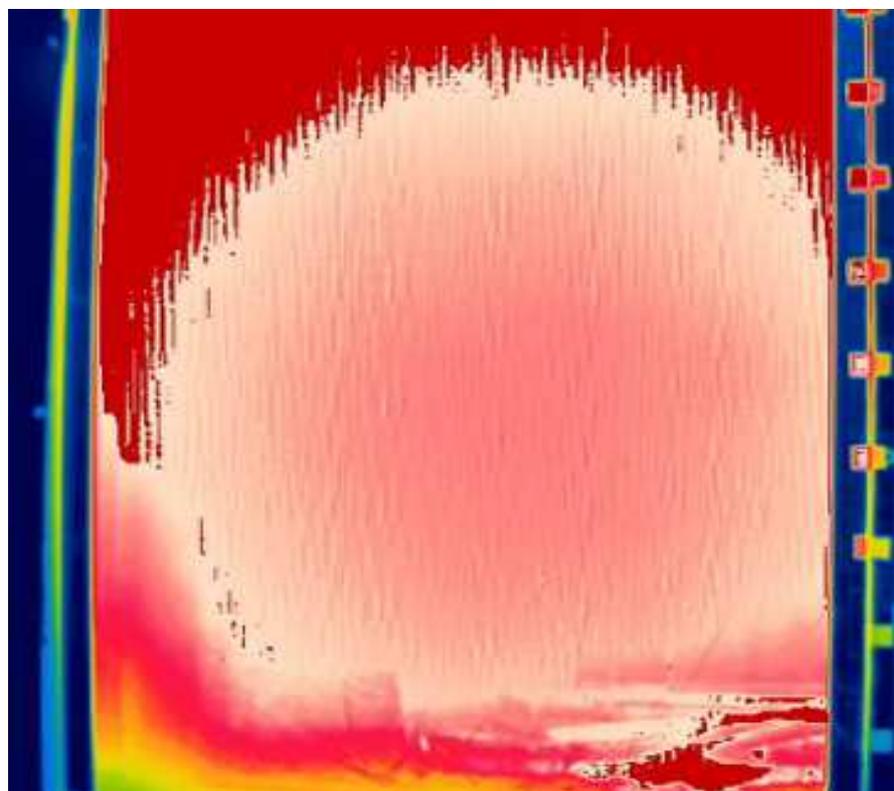


圖 3-56 熱顯像儀拍攝圖-火勢後期玻璃遮擋
(資料來源：本研究自行拍攝)

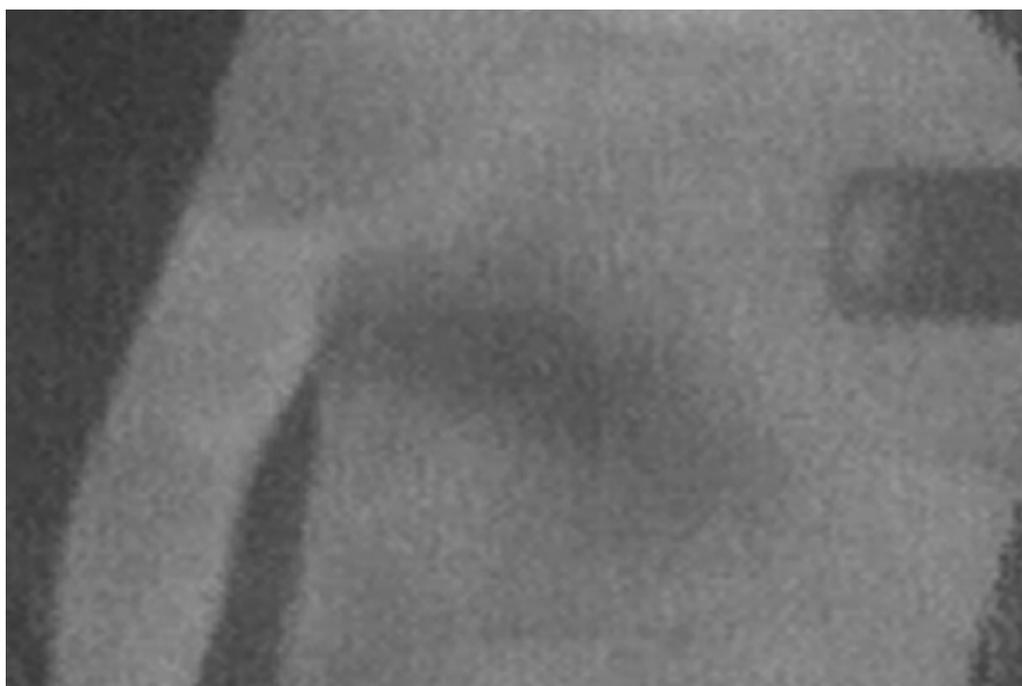


圖 3-57 紅外線攝影機拍攝圖-火勢初期遮擋
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3-58 攝影機拍攝圖-火勢初期
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 59 紅外線攝影機拍攝圖-火勢後期遮擋
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 60 紅外線攝影機拍攝圖-火勢成長
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 61 紅外線攝影機拍攝圖-火勢初期
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 62 紅外線攝影機拍攝圖-火勢後期不受遮擋
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 63 紅外線攝影機拍攝圖-前期側窗拍攝

(資料來源：本研究自行拍攝)

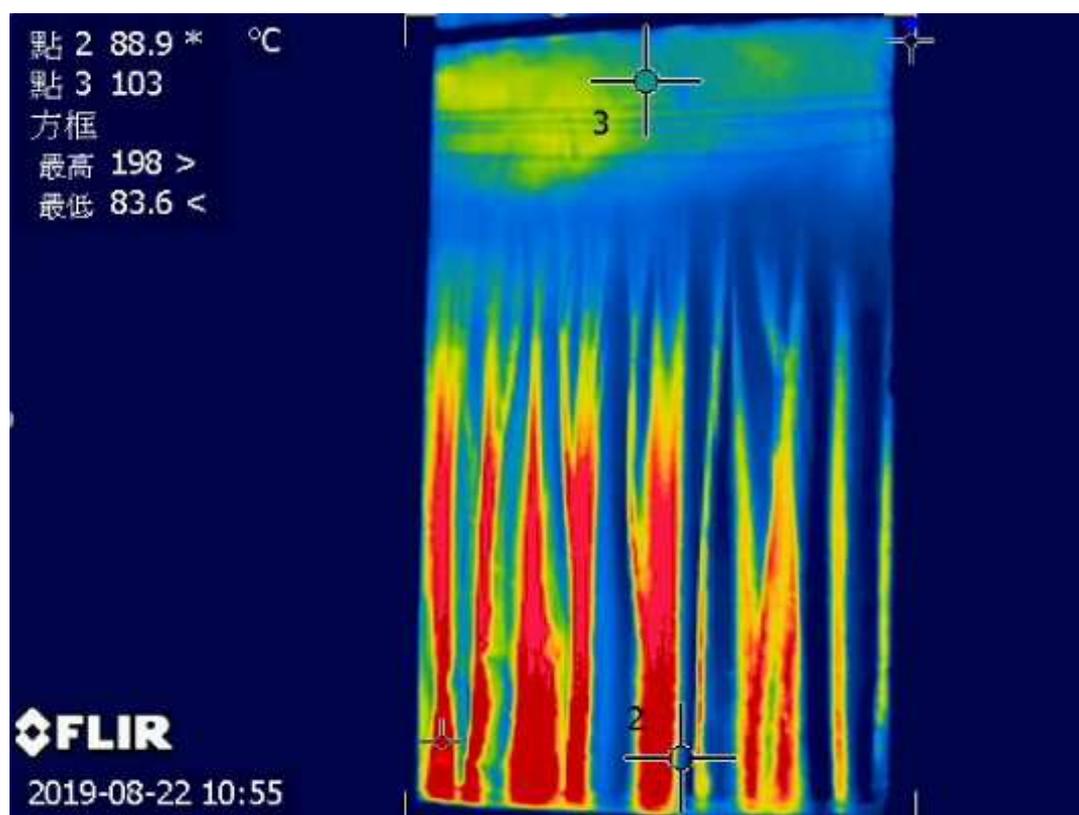


圖 3- 64 熱顯像儀拍攝圖-火勢前期

(資料來源：本研究自行拍攝)

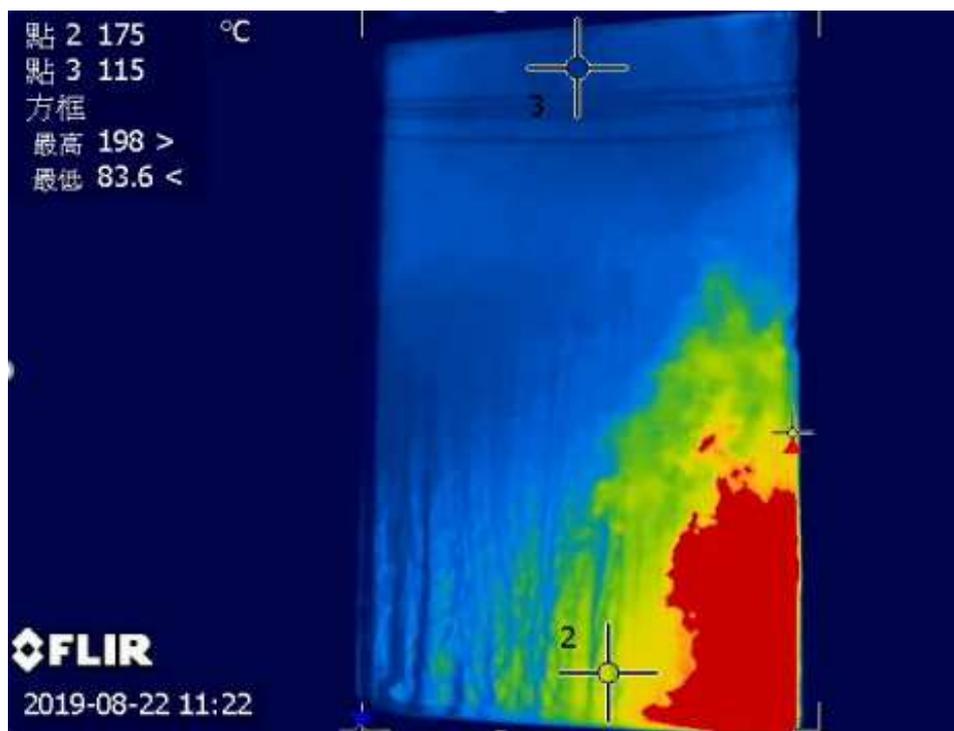


圖 3- 65 熱顯像儀拍攝圖-火勢後期效果良好
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 66 攝影機拍攝圖-前門
(資料來源：本研究自行拍攝)



圖 3- 67 攝影機拍攝圖-側窗

(資料來源：本研究自行拍攝)

熱顯像儀與近紅外線錄影畫面皆因玻璃面阻隔，溫度層無法辨識，以致效用不佳，未被遮擋情況下，可觀測火勢延燒程度，並可透過第二次熱顯像儀觀測較為清晰之煙(熱對)流變化

第三節 人工智慧預測

消防單位在火災初期不了解火場內部存放物質，對進入火場之消防人員安全是極大危害，因此運用物聯網整合平台以及多元性的環境感知設備，佈建感知模組以監控環境狀態變化。本實驗透過溫度與氣體的資訊接收傳輸，將室內資訊進行無人方式偵測，數據結果藉由平台管理進行資訊純化，將資料依照感測模組類型分類，並依照特定的資料型態儲存，可提供資料庫數據進行模型訓練使用。

本計畫將整合室內火災避難引導技術及人工智慧即時分析演算技術，以建構最佳化智慧探測模組，提供極早期火災探測(Very Early Fire Detection)技術協助室內環境預警通報及火源探知，使用 Microsoft Azure ML Studio 平台，透過彙整過後的蒐集數據導入系統，進行人工智慧演算工程模擬，以大數據方式使演算結果更為準確，將火場

各類型蒐集數據進行分析，預測火勢延種程度與延燒範圍，得出預期的火點探知訓練模型甚至是避難路線預測等結果，引導避難人員迅速疏散。

一、人工智慧預測方式

利用 Microsoft Azure ML Studio 平台，選取對火場較具參考價值之氣體進行火災預測分析，因為依據火災現況採用人工方式標註“火災發生與否”為標籤(Label)，故為機器學習中的監督式學習預測。除了標註“火災發生與否”為標籤(Label)，針對火場較具參考價值之氣體特性以選取特徵值(feature)，進而將各氣體的數值中刪除過大或過小或空缺的異常值，並透過正規化方式將數據起伏訂定一個標準，使原始資料的數據按比例縮放於同一區間中，資料轉換後可排除資料中單位的限制，以便提供相同的基準來進行後續分析比較。在人工智慧模型上，採用 75%的資料量為訓練資料及 25%的資料量為測試資料，並以線性回歸演算法(Linear regression algorithm) 進行資料訓練後再以測試集資料加以測試，經過多次反覆依照實際情況對誤差值進行微調與重新訓練，以獲取最佳預測效益。

二、燃燒實驗預測

本計畫對台南火災場預進行人工智慧分析預測，將實驗過程回收之感測數值，選用於預測場域內火災是否發生之元素，並依照上述機器學習訓練方式進行監督式學習，並分類場預中的溫度感測模組 YUT1、3 點作為測試模型，YUT2 為預測模型；氣體感測模組 YUG1、3、4 作為測試模型，YUG2 為預測模型。從平台中選取應用之數值，並選取特徵值，剔除異常與空缺的數值。首先依照火場最具參考價值之 CO 作為優先考量之氣體類別，並加入 H₂S 數值後一併訓練，進行綜合預測，套用正規化方式，將數據起伏訂定一個標準，將原始資料的數據按比例縮放於同一區間中，兩組資料則同時轉換成純量縮放於此區間中，資料轉換後可排除資料中單位的限制，以便提供相同的基準來進行後續分析比較。並在預測過程中發現 H₂S 其中一點的數據異常，導致數據在預測時發生誤判，其結果如表 3-3，修正此誤差後預測結果可上升至約 92.6%。

表 3-3 CO+H₂S 預測結果表

資料分析數量(筆)	預測數值
預測總數	11169
預測正確數量	10342
預測錯誤數量	827
標記為燃燒數量	7892
標記為非燃燒數量	3277
預測結果	0.925956

(資料來源：本研究自行繪製)

再加入溫度後之綜合預測，如同上述使用正規化並汰除異常數值，其結果表 3-4，結果可達約 85.2%。

後續延伸其他的訓練組合方式，將 YUG4+YUT1 作為訓練模型，將 YUG2+YUT2 做為測試模型，套入 CO +H₂S+TEMP+NO₂ 的情形進行預測，以及另外再加入 NH₃ 之情境模擬預測，其結果如表 3-5 以及表 3-6。

表 3-4 CO+H₂S+TEM 預測結果表

資料分析數量(筆)	預測數值
預測總數	16757
預測正確數量	14272
預測錯誤數量	2485
標記為燃燒數量	11804
標記為非燃燒數量	4953
預測結果	0.851704

(資料來源：本研究自行繪製)

表 3-5 CO +H₂S+TEMP+NO₂ 預測結果表

資料分析數量(筆)	預測數值
預測總數	15798
預測正確數量	13153
預測錯誤數量	2645
標記為燃燒數量	11548
標記為非燃燒數量	4250
預測結果	0.832574

(資料來源：本研究自行繪製)

表 3- 6 CO +H₂S+TEMP+NO₂+NH₃ 預測結果表

資料分析數量(筆)	預測數值
預測總數	19982
預測正確數量	15372
預測錯誤數量	4610
標記為燃燒數量	15469
標記為非燃燒數量	4513
預測結果	0.769292

(資料來源：本研究自行繪製)

第四章 機器人資訊彙整

一般定義之機器人是可程式的機器，在自動控制下實行包括操作或移動動作之課題，智慧型機器人能夠經由感知外在不同環境與命令，執行相對且適當的反應與動作。1967 年日本科學家森政弘與合田周平提出：「機器人是一種具有移動性、個體性、智能性、通用性、半機械半人性、自動性、奴隸性等 7 個特徵的柔性機器」。國際標準組織(ISO)中的工業自動化系統及整合(TC184) 專門制定工業環境中的機器人標準(SC2)在 1984 年曾對機器人定義：「機器人是可程式的機械，在自動控制下實行包括操作或移動動作之課題」。

目前全球現有的機器人聯盟組織已有一定的發展規模，例如國際型的國際機器人組織 International Federation of Robotics (IFR)，其主要任務是將全球機器人技術聯繫起來。當中成員來自機器人行業，國家或國際行業協會和研發機構。美國的機器人工業協會 Robotic Industries Association (RIA)，主要透過教育，推廣和機器人技術的進步，相關的自動化技術以及提供集成解決方案的公司，推動製造和服務行業的創新，增長和安全。韓國機器人工業協會 Korea Association of Robot Industry(KAR)，旨在提升韓國的機器人工業，提供企業組織與政府之間有關機器人領域上研究、發展及工業合作。日本機器人協會 Japan Robot Association(JARA)，旨在通過鼓勵對機器人及相關系統產品的研究和開發，以及促進機器人技術的使用來進一步發展機器人製造業。台灣的社團法人台灣自動化與機器人協會 Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association (TAIROA)，主要為整合製造工程、自動化科技、精密機械、模具、通訊、半導體、影像顯示、材料、資訊、電子電機、醫療照護、教育、服務等學術界、產業界等公私機構及相關專業人員之專長與力量，成為智慧自動化與機器人技術交流及異業聯盟之平台，並促進國際交流，加速智慧自動化與機器人相關產業之發展。

第一節 消防機器人

就消防功能需求而言，目前已製產應用的消防機器人，包括：早期偵蒐、滅火救災、救援等三大功能；其他如火場中期偵蒐或作為資訊傳遞中繼站等功能之機器人較為缺乏。機器人一般必須具備輕巧、遠端遙控、自動迴避、障礙爬行、防火耐高溫、

氣體偵測及影像傳輸、滅火等基本功能。

(一) 早期偵蒐機器人

多用於室內，結合 IOT 傳輸偵知資訊並連結滅火機器人，台灣、日本及歐洲均有製產。主要功能包括：早期偵知火災、誤報過濾(AI 演算)、確認起火點、訊息通報、及時滅火，其整理資訊如表 4-1 所示。

表 4-1 代表性早期偵蒐機器人列表

機器人	功能特色	資料來源
<p>台灣(住宅、工廠、長照機構)</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1.早期偵知火災 2.誤報過濾(AI 演算) 3.自動避障 4.主動搜尋火點 5.鎖定火點及滅火 6.訊息(廣播)通報 7.配備：隱藏式天線、環境及影響辨識系統、滅火系統、廣播 	<p>https://www.youtube.com/watch?time_continue=63&v=9NK7DHoVVd4</p>
<p>日本(住宅、工廠、長照機構)</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1.早期偵知火災 2.鎖定火點及滅火 3.影像傳輸 4.智慧手機遠端通報 	<p>https://www.kesurobo.com/jp/</p>

(資料來源：建研所協助統整)

(二) 滅火及影像傳輸機器人：

滅火及影像傳輸機器人目前最為成熟，美國、法國、中國、日本、台灣均有製產，大多為履帶車型；另外美國海軍船用消防機器人則為人型，但未成熟，根據表 4-2 可以明顯看出，滅火及影像傳輸機器人在功能與技術上皆比其他的消防機器人較為完整，也較能夠於災害場域中使用。

表 4-2 代表性滅火及影像傳輸機器人列表

機器人	功能特色	資料來源
<p>台灣(先用於隧道火災)</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 搭載消防水砲、噴水射程最遠 65m，可協助滅火降溫 2. 火災影像傳輸 3. 可進行 1 公里外遙控 4. 自身有防火和防降溫功能 	<p>https://www.cna.com.tw/news/firstnews/201905310182.aspx</p>
<p>法國(The Fire Fighting robot COLOSSUS)</p>  <p>美國</p>  <p>中國大陸(滅火排煙)</p> 	<p>例如：法國(進入巴黎聖母院主體結構內部滅火、降溫)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 日/夜視覺，及生化、放射物質等高危物質感應器，可偵查火災及預測爆炸危險 2. 噴水滅火、降溫 3. 具備 1 噸運載能力、可運行 10 到 12 個小時 4. 自身防護：航空鋁和焊接鋼製造、防水及防熱輻射 <p>中國大陸</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 以攝像頭觀測火災現場 2. 裝置高速旋轉液壓馬達具有排煙功能 3. 安裝水霧、水泡、泡沫適用用於不同火場滅火 	<p>法國：https://www.usatoday.com/story/money/2019/04/18/notre-dame-cathedral-blaze-fought-firefighting-robot-and-drones/3494540002/</p> <p>美國 https://www.youtube.com/watch?v=cX7XZTmVu0c</p> <p>中國大陸 https://read01.com/a8eRMQ.html</p>

(資料來源：建研所協助統整)

(三) 救援機器人：最少，日本有製產

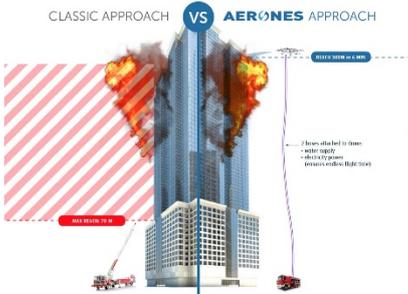
實務應用上，目前美國、中國、法國、日本、台灣消防機器人均已服役，最近如法國聖母院救災、日本千葉縣機器人消防救災隊伍成立、及我國台東南迴公路草埔隧道均已應用消防救災機器人，其代表性救援機器人如表 4-3 以及表 4-4 所示。

表 4-3 代表性救援機器人列表

機器人	功能特色	資料來源
日本 	1. 資訊收集、影像傳輸 2. 氣體監測、聲波探測 3. 機械手將受傷人員放入履帶送出災區	http://www.tfd.metro.tokyo.jp/ts/soubi/robo/05.htm

(資料來源：建研所協助統整)

表 4-4 代表性特殊類型機器人列表

機器人	功能特色	資料來源
美國(高樓滅火 Aeronex firefighting drone) 	1. 消防車連結無人機高空滅火	https://www.youtube.com/watch?v=qaYwwEhIGBE https://www.aeronex.com/eng/firefighting_drone/
美國(波音森林火災監測) 	1. 紅外線鏡頭監測森林大火情形，提供火場安全的出入口。 2. 飛行時速達 120 公里，20 小時續航力	https://www.youtube.com/watch?v=c6_lrSSOjG0

(資料來源：建研所協助統整)

第二節 機器人與建築分類

壹、機器人類型

坊間消防(救災)機器人以多功能性為主，分析其相對應的功能，便可大幅增加特定場域的執行效率運作效率。功能方面，機器人可搭載的功能類型五花八門，例如履帶功能、輕巧型機身、自動避障、各式氣體或溫度感測、懸浮功能、隔熱或特殊防護材質機身、排煙功能、無人飛行器等類型，現有機器人量產時，便會考量作業時缺少之功能，因而將各式功能排列組合搭配，探索出獨特的應變之道，造就出現今消防救災機器人以多功能性為主的市場，本團隊預期可將消防運用劃分為極早期偵蒐、燃燒前期、燃燒猛烈期、災後救援等四階段，並針對各階段環境選擇合適之機器人。

貳、建築物類型

依照目前國內可見建築類別，大致可分為高層建築、木造建築、混凝土建築、管道線路、廠房、地下房屋及半開放空間等類型，當中又以高層建築、木造建築、混凝土、廠房建築為大宗。

(一) 高層建築特性：高層建築係指高度在 50 公尺或樓層在 16 層以上之建築物。其火災特性為缺氧悶燒，產生大量濃煙並迅速擴散，造成煙囪效應，形成立體火災。視線不佳，逃生不易，難以由外部搶救。

(二) 木造建築特性：火災發生時容易會有深層燃燒、悶燒現象，具有高火載量、防火區劃不佳之特性。建築結構嚴重弱化，樓地板、天花板容易坍塌。水源接觸燃燒餘燼易產生大量水煙，會嚴重影響火場能見度。

(三) 混凝土、廠房建築特性：混凝土含有水泥水化物及其衍生物，受火災高溫作用，造成整體破壞。以半導體和光電廠為例，擁諸多特殊原料，並隨製程改變，其產生之廢水、廢氣性質也不同。化學原料常有易燃化學物質高危險性。

參、機器人分類

依照上述時間軸作為劃分依據，本階段使用可劃分為極早期偵蒐、燃燒初期、燃燒猛烈期與災後探勘救援等四階段，進行功能與場域空間之配對，便可觀察出合適之

消防救災機器人類型應用效益，以提供後續針對各場域與各階段合適機器人之挑選建議。

(一) 極早期偵蒐：

	履帶功能	輕巧型	自動迴避	溫、氣體感測	懸浮功能	隔熱機身	排煙功能	無人飛行器
高層建築	△	○	○	○	△	○	△	○
木造建築	○	△	○	○	○	○	△	△
混凝土建築	○	△	○	○	○	○	○	△
管道線路	△	△	○	○	○	○	○	△
廠房	○	△	○	○	○	○	○	○

○：輔助效益優良 △：輔助效益不佳

圖 4-1 極早期偵蒐適用機器人類別

(資料來源：本研究自行繪製)

(二) 燃燒前期：

	火點感知	滅火功能	自動避障	溫、氣體感測	懸浮功能	隔熱機身	煙霧探測	無人飛行器
高層建築	○	○	△	○	△	○	○	○
木造建築	○	○	○	○	△	○	△	△
混凝土建築	○	○	○	○	△	○	△	△
管道線路	○	△	○	○	△	○	○	△
廠房	○	○	○	○	○	○	○	○

○：輔助效益優良 △：輔助效益不佳

圖 4-2 燃燒前期適用機器人類別

(資料來源：本研究自行繪製)

(三) 燃燒猛烈期：

	履帶功能	障礙移除	資訊傳遞	滅火功能	懸浮功能	隔熱機身	排煙功能	無人飛行器
高層建築	X	X	△	△	X	O	X	O
木造建築	△	△	△	O	X	O	X	X
混凝土建築	O	O	△	O	X	O	X	X
管道線路	X	X	△	△	X	O	X	X
廠房	O	O	O	O	X	O	△	X
半開放空間	O	O	O	O	△	O	△	△

O：輔助效益優良 △：輔助效益不佳 X：無輔助效益

圖 4-3 燃燒猛烈期適用機器人類別

(資料來源：本研究自行繪製)

(三) 災後救援：

	履帶功能	障礙移除	資訊傳遞	滅火功能	懸浮功能	隔熱機身	排煙功能	無人飛行器
高層建築	X	X	△	△	X	O	X	O
木造建築	△	△	△	O	X	O	X	X
混凝土建築	O	O	△	O	X	O	X	X
管道線路	X	X	△	△	X	O	X	X
廠房	O	O	O	O	X	O	△	X
半開放空間	O	O	O	O	△	O	△	△

O：輔助效益優良 △：輔助效益不佳 X：無輔助效益

圖 4-4 災後救援適用機器人類別

(資料來源：本研究自行繪製)

透過此列表可篩選出各類型機器人對於此場域搭載的功能類型適用與否，便能在

第一階段協助判斷此類型功能之效益優劣。本團隊後續將繼續琢磨機器人分類作業，對於火災發生時之火災及早期機器人應用與火勢延燒時期進行劃分，並針對此區間進行場域適用調查與分析，更加精進消防救災機器人適用分析，期許能加速機器人實際協助救災的比例，增加臨場應用的效益，保障第一線救災人員的安全性。

第三節 代表性機器人使用定位

各式機器人，依照功能類型挑選完畢後，便會如下列方式說明適用之場合，本章節舉例幾款代表型機器人進行使用定位說明。

(一) 名稱：The Fire Fighting robot COLOSSUS(圖 4- 5)

功能、特色：噴水滅火，運輸設備，使用視頻設備進行日/夜視覺偵查；生化、放射物質等高危物質獨立感應器；550KG 負載量、30 公分內障礙物排除

適用：極早期偵蒐、燃燒時期、災後救

木造建築、混凝土建築、廠房、半開放空間

材質：航空鋁機殼



圖 4- 5 The Fire Fighting robot COLOSSUS

(資料來源：Shark Robotics)

(二) 名稱：Aerones firefighting drone(圖 4- 6)

功能、特色：適用高樓層之無人飛行機，地面資源供給

適用：極早期偵蒐、燃燒時期、災後救援；

高層建築、半開放空間

材質：碳纖維複合材料



圖 4- 6 Aerones firefighting drone

(資料來源：Aerones)

(三) 名稱：蛇形救災機器人(圖 4- 7)

功能、特色：向下噴射空氣，可抬高至 30 公分，利於越過高低差異之視野不佳處，前端設有照明設備

適用：極早期偵蒐、災後救援；

木造建築、混凝土建築、管道線路、半開放空間

材質：尼龍細毛



圖 4- 7 蛇形救災機器人

(資料來源：日本東北大學)

(四) 名稱：Arduino Based Autonomous Fire Fighting Robot(圖 4- 8)

功能、特色：遠端操作技術，搜尋火勢延燒範圍並撲滅，基於 GSM(Global System for Mobile Communications,全球行動通訊系統) 可合併 SIM 卡，為通信使用之基礎

適用：極早期偵蒐；

木造建築、混凝土建築、管道線路

材質：印刷電路板 (PCB)、PVC



圖 4- 8 Arduino Based Autonomous Fire Fighting Robot

(資料來源：nevonprojects)

第五章 藍牙與定位技術

第一節 藍牙定位架構

室內定位技術是以接收的信號強度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)作為定位之依據，可以藉由具有 RSSI 強度之技術皆可以做為室內定位之應用，如：Wi-Fi、ZigBee、GSM、LTE、RFID、Bluetooth...等，在室內環境中由於大樓牆面與水泥牆面的阻隔下，電子設備或者標籤設備皆無法透過全球定位系統(Global Positioning System, GPS)中的標準定位服務(Standard Positioning Service, SPS)來取得經緯度定位，因此必須僅能透過 RSSI 的轉換方式來進行室內定位，而本研究則採用藍牙 5.1 (Bluetooth 5.1)技術來作為新型定位技術的應用方式，透過表 5-1 我們可以得知藍牙 5.1 技術不僅具有高傳輸效率、且傳輸距離也非常符合室內定位的長度並且藉由節點布置也能夠提升室內定位的精準程度。

表 5-1 藍牙規格表

藍牙版本	發布時間	最大傳輸速度	傳輸距離
藍牙 5.1	2019	48 Mbit/s	300 公尺
藍牙 5.0	2016	48 Mbit/s	300 公尺
藍牙 4.2	2014	24 Mbit/s	50 公尺
藍牙 4.1	2013	24 Mbit/s	50 公尺
藍牙 4.0	2010	24 Mbit/s	50 公尺
藍牙 3.0+HS	2009	24 Mbit/s	10 公尺
藍牙 2.1+EDR	2007	3 Mbit/s	10 公尺
藍牙 2.0+EDR	2004	2.1 Mbit/s	10 公尺
藍牙 1.2	2003	1 Mbit/s	10 公尺
藍牙 1.1	2002	810 Kbit/s	10 公尺
藍牙 1.0	1998	723.1 Kbit/s	10 公尺

(資料來源：Wikipedia 藍牙)

壹、設備介紹

本研究選定藍牙 5.0 技術作為室內定位基礎，在藍牙 4.2 技術中不僅大幅提升通訊距離至 300 公尺，也開放了開放式的訊息封包來提供給定位技術上的使用，並增加尋向 (Direction Finding) 技術，使得位置服務 (Location Services) 可以提高準確性值。

在設備方面本研究則選定使用串雲科技(TracMo Technology) 所開發之可攜帶式藍牙雙向追蹤器(tracMo)，如圖 5-1 為藍牙雙向追蹤器，其功能特色在於 tracMo 本身使用藍牙 5 作為傳輸介面，耗能極低，使用 CR2032 鈕扣型電池可以支撐最長達 18 個月，且傳輸距離可以達 300 米之長度，更配合小尺寸與 8 公克重量，不僅可以做為一個鑰匙圈的標示，也能夠以細薄的方式裝設於各式的設備上面，若為室內辦公、者大樓百貨公司專員或救災消防者進入場域中，則可以透過 tracMo 的訊號傳輸下來定位出環境的位置。



圖 5-1 tracMo、tracMo Leaf 雙向藍牙追蹤器

(資料來源：TRACMO Technology, <https://mytracmo.com/zh/products-tw/>)

在使用藍牙 5.0 的方式下進行定位，則必須也要使用 iBeacon 或藍牙路由器(Router) 等設備來做為藍牙訊號的訊息接收，而本研究則相同選定由串雲科技所研發之 tracMo Station 來作為藍牙路由器，其設備圖如圖 5-2 所示。



圖 5-2 tracMo Station

(資料來源：TRACMO Technology, <https://mytracmo.com/zh/products-tw/>)

透過 tracMo Station 我們不僅能夠把 tracMo 的訊號資源抓取，也能夠透過網域 Wi-Fi 方式建立室內環境之即時定位系統(Real-Time Location System, RTLS)

貳、藍牙定位架構

透過 tracMo 雙向藍牙追蹤器與 tracMo Station 藍牙路由器，本研究建構出可應用於室內環境定位之 RTLS 系統，其結構如圖 5-3：

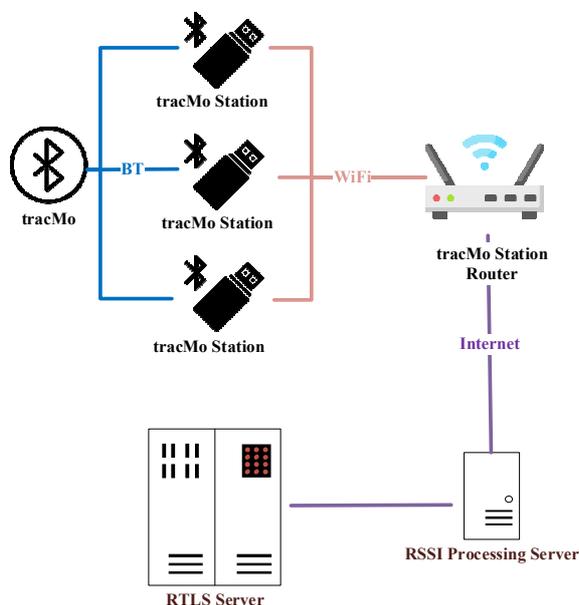


圖 5-3 藍牙定位架構圖

(資料來源：本研究自行繪製)

1. tracMo & tracMo Station

在 tracMo 與 tracMo Station 設定下，串雲科技的協助調整本研究所所需要目的之應用方式，tracMo 標籤會在 0.6 秒至 1.2 秒的情況下會持續性的發送訊號，並透過藍牙廣播方式在室內環境中持續發送藍牙訊號給 tracMo Station，而 tracMo Station 則會根據環境中的 tracMo 訊號進行接收，並且根據不同的 tracMo Station 所接收到的訊號強度不同來感測 tracMo 標籤於室內環境的相對距離。

但單一的 tracMo Station 並無法進行室內環境定位之計算，在定位計算上必須要以三點的方式才能夠進行計算未知點的處理，撇除未知點 tracMo 外，還必須要有 3 個以上的 tracMo Station 才能夠進行室內定位，因此在室內空間中若以 tracMo Station 作為定位節點的基礎，則必須要裝設 3 個以上的 tracMo 作為已知節點。

2. tracMo Station Router

tracMo Station 是透過無線路由器(Wireless Router) 作為訊號傳遞通訊的方式，在

初始狀況必須要先讓 tracMo Station 與無線存取點(Wireless Access Point, WAP) 進行配對連線來確認 tracMo Station 所位於的網際網路網域，為了確保即時室內定位之效率與分析狀況，我們則讓 tracMo Station 加入 IPv4 之專用網路中，使得 tracMo Station 所發出之資訊與訊號品質能夠受到管控。

透過 IPv4 的專用網路中，我們則讓 tracMo Station 在相同的網域中進行網域廣播 (Broadcast) ，使得所有的 tracMo Station 資訊都能夠在網域中進行存取，而 tracMo Station 則會在接收到 tracMo 標籤所傳出之訊號時進行廣播，若室內環境的 tracMo 數量約為 10 個，則每一個 tracMo Station 則可以在每一秒由廣播接收到 17 筆的訊息量來提供後續的伺服器進行計算。

3. RSSI 處理伺服器

當 tracMo Station 透過網域廣播方式將資訊進行分享，則必須要透過叢集伺服器，來進行資訊蒐集，將所有的 tracMo Station 廣播訊息進行接收，並透過 JSON (JavaScript Object Notation) 字串格式進行數據儲存，不僅能夠有效透過鍵-值儲存來取得有需要的數據進行處理，也能夠大量降低數據傳輸之間不便之問題。

然而在數據取得後 RSSI 值並未想像中的穩定，在環境中的變化下以及設備的位置都會大幅度影響到 RSSI 的品質與訊號之強度，因此在 RSSI 伺服器中則必須要先針對 tracMo 標籤透過 tracMo Station 所取得之 RSSI 值進行處理，其處理流程如圖 5-4：

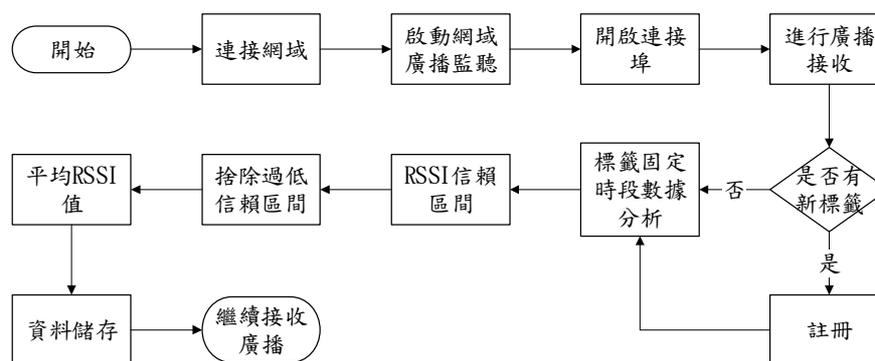


圖 5-4 RSSI 伺服器流程圖

(資料來源：本研究自行繪製)

4. RTLS 即時定位系統

RTLS 系統是室內定位主要的處理系統，所有的資訊透過 RTLS 的輔助行計算下能

計算出室內環境所在的位置，然而 RTLS 系統的建構必須要根據 ISO/IEC 24730 的規範來建構：

1. ISO/IEC 27430-1 – API: 必須要包括可擴展標記語言(Extensible Markup Language, XML) 、JSON、或其他可交換式資訊格式，以及簡易物件存取協定(Simple Object Access Protocol, SOAP)
2. ISO/IEC 27430-2 – 空中接口協議：
 - A. 定位 2.4GHz 標籤/讀寫器接口和定義網路訂位系統的 x-y 座標
 - B. 描述低頻設備的空中接口協議
 - C. OOK/FSK 訊息規格，允許 2.4GHz RTLS 主動標籤回應簡單、低成本的手持式讀寫設備

而 RSSI 處理伺服器則會透過 RTLS 系統來計算出室內環境定位的位置，讓系統能夠標示出室內環境人員的相對位置於系統圖示上，其 RTLS 系統流程圖如圖 5-5。

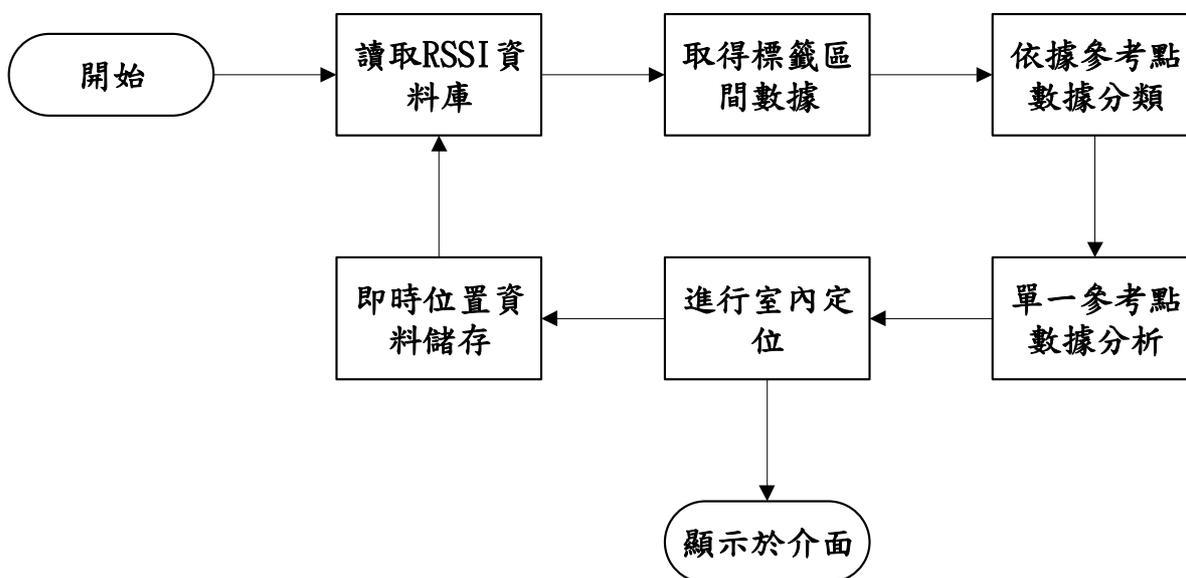


圖 5-5 RTLS 系統流程圖

(資料來源：本研究自行繪製)

第二節 室內定位技術

在室內環境中並不能夠依靠 GPS 的定位方式來輔助環境的位置確認，因此必須要透過其他的參考方式來確認偵測點的位置，因此在室內定位技術處理方式且比在室外

方式複雜，將室內環境的無線存取點作為參考節點，並且透過回傳取得之訊號值進行轉換後計算出未知節點與參考節點之間的距離後，最後進行位置節點計算，而目前使用的室內定位方式大部分皆是以三角定位法(Triangulation method)進行定位，而訊號處理方式可以分為四種，包含：RSSI、AOA (Angle of Arrival)、TOA(Time of Arrival)、TDOA(Time Difference of Arrival)等四種方法是主要在室內環境定位的方法。

壹、訊號處理技術

1. RSSI

RSSI 是接收端收到來自不同基地台的訊號，因為傳輸距離的不同，會造成不同程度的訊號衰減。透過所接收到的訊號衰減程度，可計算出接收端與個別基地台的距離。

然而，RSSI 也並非毫無缺點，當室內有任何會造成訊號衰減的因素時，計算就會失準，例如複雜的裝潢、穿梭的人潮等等，因此 RSSI 的實用性有限，定位精準度亦難以提升。

2. AOA

AOA 是透過指向性天線或天線陣列方式，透過不同的天線接收同一個發射端所發出的訊號造成訊號的差異性，計算出發射端相對接收端之間的角度，最後定義出接收端的平面高度，繼而計算出發射端的座標，目前也是現今最精準的定位技術。

然而 AOA 的定位精準必須要取決於天線陣列配置的方式，若掃描頻率夠高，即可以精確定位，且不受到室內裝潢的影響，但發射端與接收端越遠則誤差會越大，因此在技術與成本上都非常的高昂，全球研發成功的技術與公司並不多。

3. TOA

TOA 定位技術靠的不是訊號的衰減，而是各個發射端將訊號傳送至接收端的時間。透過時間，可計算出接收端與個別發射端的距離，再套上三角定位公式，就能算出接收端的座標。

TOA 的缺點在於因為訊號傳播速度極快，即便是 1 微秒（百萬分之一秒）的時間差距，亦可能造成數百公尺的距離誤差，因此各設備對時間同步的要求極為嚴苛，實

作的難度高，不大符合室內定位空間小，成本有限的特性

4. TDOA

TDOA 與 TOA 相同，差別在於原本 TOA 的配置為 1 個接收器 + 多個發射器，而 TDOA 則是透過多個接收器針對同一訊號發射端所接收到的時間的不同，計算出各接收器與發射端之間的距離，再代入雙曲線方程式中，以計算出發射端的座標，其缺點也與 TOA 相同，在設備同步性上是個很大的考驗，且室內結構只要略影響訊號接收，就會造成極大的誤差，所以難用於室內場域。

在室內定位中四種訊號處理都會因為環境的影響而導致訊號距離出現干擾，但是在室內環境中，透過 RSSI 方式來處理，不僅可以易於進行訊號處理，在應用上也不需要使用過於昂貴的設備即可以完成，因此搭配藍牙 5.0 技術不僅可以提高訊號傳輸長度，且在少量的設備下就可以完成較寬廣面積的室內環境進行定位。

貳、三角定位與實測

三角定位法的原理是利用 3 台或者 3 台以上的探測器在不同位置探測目標方位，然後運用三角幾何原理確定目標的位置和距離，因此在室內定位中，可以透過兩個或兩個以上的接收端作為已知定位基礎點，並且透過 RSSI 訊號來取得發送端與接收端的距離。

當取得資訊後，可以從平面上繪製出發送端與三個不共線的接收端之圓，且三圓相交的位置即是發送端，若接收端共有 n 個點第 1 個接收端到第 n 個接收端之座標分別為 (x_1, y_1) 到 (x_n, y_n) 其距離為 d_1 到 d_n ，而發送端 S 的座標點為 (x, y) ，因此可以將已知座標點與未知座標的發送端建立方程式(1)。

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ \vdots \\ (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = d_n^2 \end{cases} \quad (1)$$

透過方程式(5-1)即可以繪製出未知座標點與其他三個已知節點發送端如圖 5- 6，而本研究將其技術製作為偵測技術並建構為 RTLS 系統，使得設備能夠根據室內環境所偵測節點進行即時監控，並根據標籤編號來標示區分出該標籤所屬的座標點。

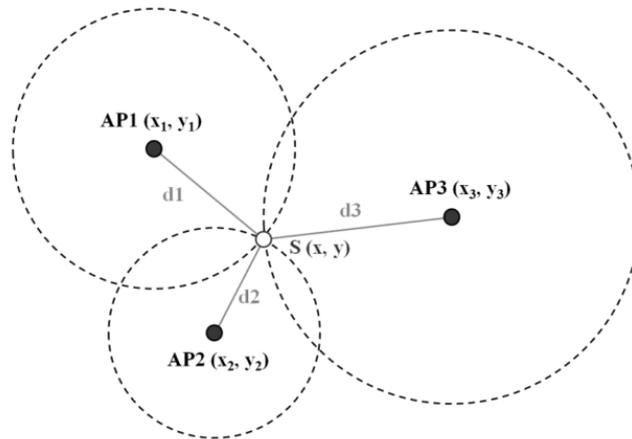


圖 5-6 三點定位概念圖

(資料來源：<https://dahetalk.com/2018/05/02/>)

本研究使用中華大學 AI⁺ 體驗中心教學區作為室內定位實驗場域，在場域周邊佈設 5 組 tracMo Station 作為基訊號識別位置，並且給定各點座標，透過 tracMo Station 與 Wi-Fi 連線，讓 tracMo Station 能夠識別室內標籤所發出之訊號強弱程度並將其回傳。

在同一網域下 RSSI Server 會負責將廣播網域中的回傳數據進行接收，並透過數據清洗方式將數據進行有效性的距離識別，在此實驗當中，本研究使用 tracMo 訊號標籤(tag)所發出之訊號強度，並依照 tracMo Station 與 tracMo 的距離長短整理出訊號值與距離之關係斜率來做為距離與訊號之間的轉換，透過訊號強弱值讓 RSSI Server 輔助選擇最近的三點 tracMo Station 做為定位源，並根據轉換後的訊號距離值以及定位節點進行三點定位計算，最後透過距離補償方式提升標籤的準確程度以避免定位發散。

透過上述方法即可以取得室內標籤的定位座標，來得知標籤於室內環境中的位置，如圖 5-7。

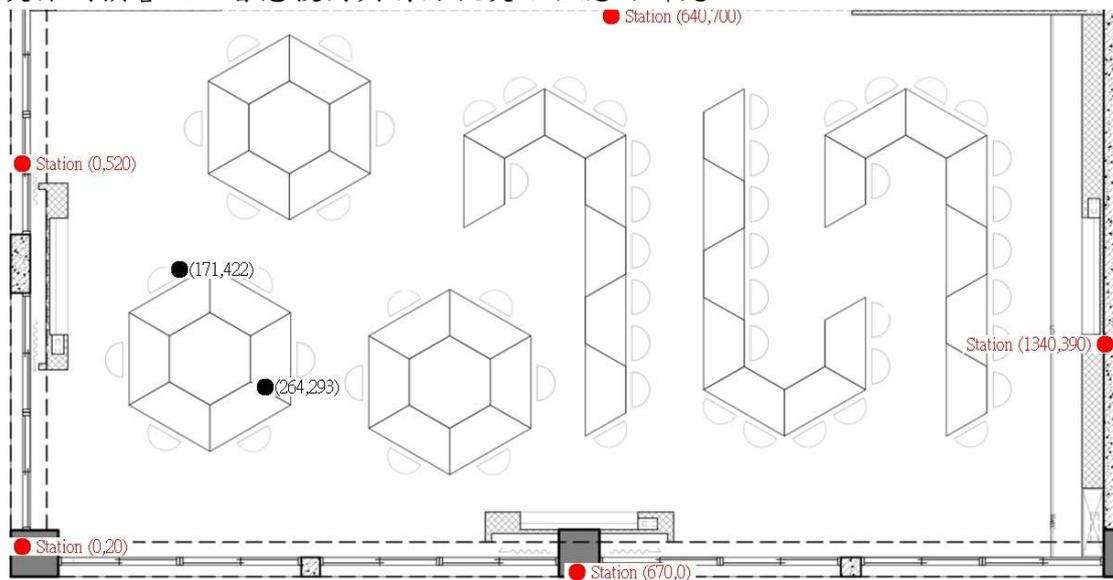


圖 5-7 室內定位系統截圖

(資料來源：本研究自行繪製)

在中華大學 AI⁺ 體驗中心長 13 公尺、寬 7 公尺的教室中進行室內定位實驗，該實驗場域空間中擺放多個物體，包括桌子，椅子，數字廣播等，模擬一般室內環境。我們將五個 tracMo Station 放置在具有坐標的相同高度上，分別為 A(0,520)，B(0,20)，C(670、0)，D(1340、390) 和 E(640、700)，數字均以公分為單位，並將將 WIFI 網關(Gateway)放置在固定位置。tracMo 的坐標為 (171、422) 和 (264,293)。將四個藍牙節點的標籤傳輸間隔設置為 600 ms，並連續收集 70 次的 RSSI 值。如圖 5-78 和圖 5-79 顯示了 RSSI 伺服器收集的 RSSI 數值和 WIFI 網關收集的 RSSI 校正值。

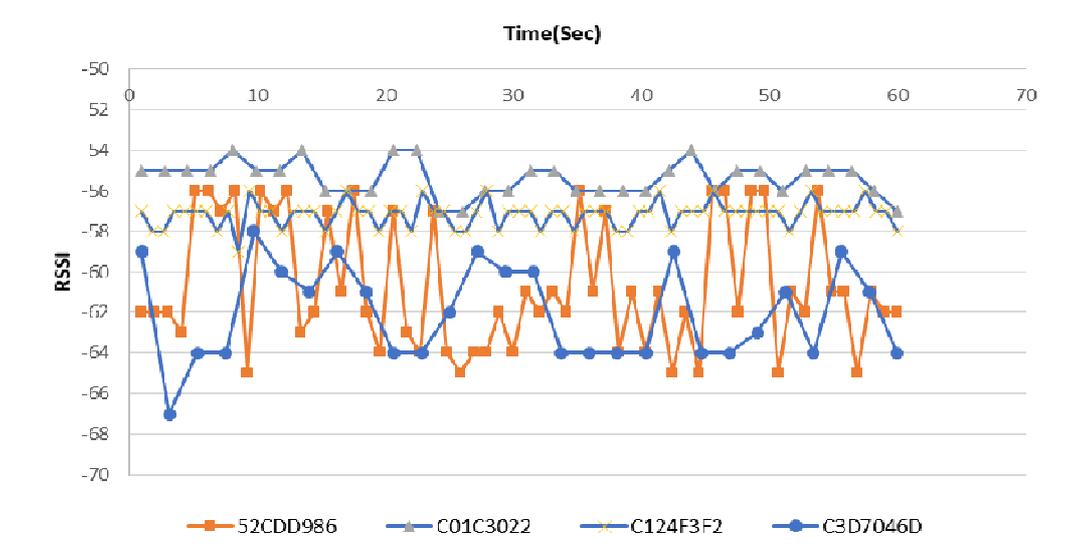


圖 5-8 RSSI 數值圖

(資料來源：本研究自行繪製)

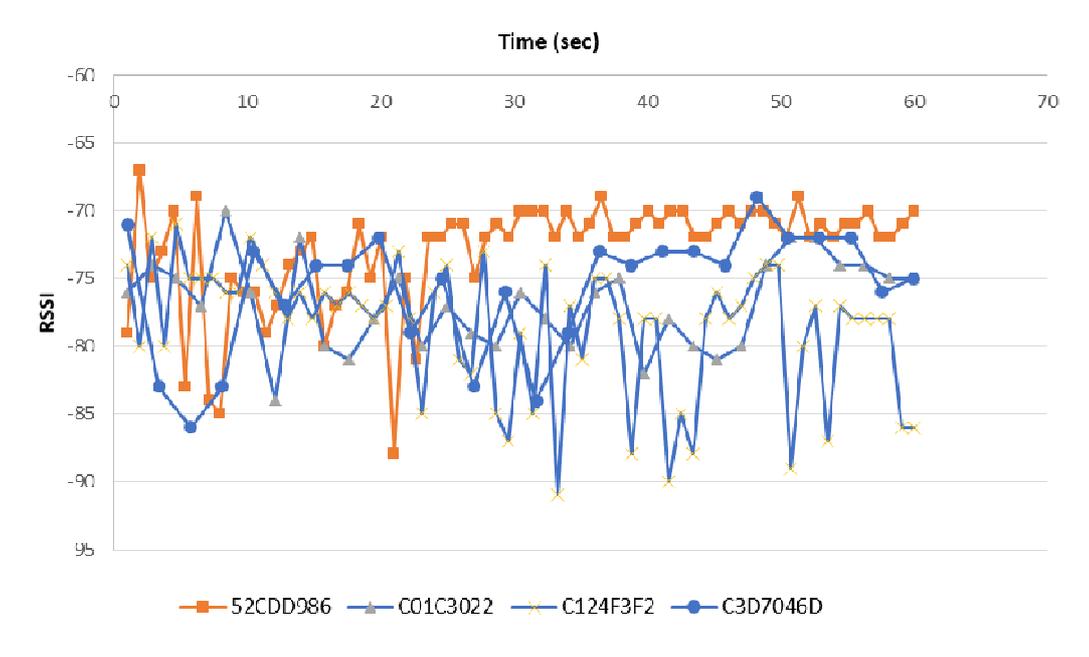


圖 5-9 室內定位系統截圖

(資料來源：本研究自行繪製)

從標籤 C124F3F2 可以看出，距離 1 公尺遠的 BLE 信號強度相對穩定。但如果標籤的訊號功率不足，則可從 52CDD986 標籤看出，訊號的穩定度會有下降趨勢。距離 BLE 路由器 5 公尺外的訊號穩定性相對較差，最初在距離 1 公尺範圍內相對穩定。C124F3F2 標籤的信號幅度發生了很大變化，因為信號值從 -54~-68，變為 -65~-92。因此我們可得出訊號強度與標籤的距離以及提供標籤的電量有關的結論。

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究為提升火場資訊透明化程度，提出複合式人工智慧避難引導系統，並持續對於消防機器人進行資訊整理，為火場安全盡一份心力，本研究結論與成果如下：

壹、極早期火災感知

本研究藉由人工智慧分析技術進行室內火場的分析，透過實際驗證方式取得室內火場起火燃燒的真實數據，並根據監督式學習之人工智慧演算方式來預測出室內環境的成長趨勢，以判斷室內起火的狀況。

一、燃燒實驗

本研究承蒙建築研究所邀請共同參與相關防火計畫，同時進行室內模擬燃燒實驗，本研究透過 IoTalk 物聯網平台的輔助下統整智慧多元感知的各項模組，使其以直覺與便利的情形下規劃管理所有的感知設備，在實驗過程中，本研究則以室內環境的燃燒危險因子作數據蒐集之對象，其中包含：一氧化碳、二氧化碳、硫化氫、二氧化氮、氮氣以及溫度等多種感知資訊來觀察室內環境的氣體變化與溫度變化。

在實驗完成後，本研究發現物聯網平台可以有效管理遠端與多元感知設備，使期有效的管理大量感知設備，而透過蒐集後，本研究將其數據做為極早期人工智慧預測的訓練範本，讓人工智慧模型能自動識別室內環境燃燒的趨勢。

二、人工智慧預測

本研究透過複合型選取的方式來選取對於火場中較具有參考價值之氣體進行火災預測分析，採用 Microsoft Azure ML Studio 平台以及線性回歸演算法進行機器學習中的監督式學習預測。

經由模型訓練後，發現以一氧化碳與硫化氫的複合氣體模型將實際樣本的火場資訊進行判斷，能夠有效區分火災情形的正確率為 92.6%，而加入溫度後正確率達 85.2%，若將更多氣體數據匯入，也會降低模型的精準程度，由此可以得知多元氣體並非更有

效率提升精準程度反而會降低預測判斷，倘若能將最核心之氣體與溫度作為模型之訓練，不僅有效提升模型精準，也能夠有效識別火場的偵測判斷。

三、極早期火災探知

人工智慧極早期火災探知可以藉由室內環境感知設備或模組進行室內環境之監測來判斷室內環境是否發生火場變化，使其能夠更早期的識別出室內火災的發生，以順利疏散，而後續也能夠作為智慧型避難引導系統的識別門檻值，若極早期火災探知已偵測出火災，則必須要驅動全方位智慧型避難引導系統來輔助室內環境避難。

貳、室內藍牙定位技術

一、室內藍牙定位

本研究藉由串雲科技的藍牙設備 tracMo 與 tracMo Station 進行室內藍牙 5.0 的室內定位研究，在研究過程中發現，藍牙標籤的 RSSI 值浮動頻率比起 RFID 標籤與 Wi-Fi 的浮動頻率更為穩定，不僅對於室內環境的定位準確性提升也有效拉長室內環境的定位距離，而定位方式，本研究則採用三點定位方式來進行室內未知點定位技術，透過推倒與測試後本研究的室內定位狀況，能夠到達誤差約為 1 公尺。

二、藍牙定位與應用

透過室內定位輔助，可以做為室內環境專業或者相關人員的位置取得，在極早期探知的判斷下，當室內環境發生火災時，可以透過室內藍牙定位技術來取得環境中人員的分布，並藉由通訊引導方式來指導專業或相關人員進行室內避難者的導引指導，使其室內環境的避難過程能夠順利且迅速完成

參、機器人資訊彙整

消防機器人基本上具備輕巧、遠端遙控、自動迴避、障礙爬行、防火耐高溫、氣體偵測、影像傳輸及滅火等基本功能。就消防需求而言，目前已製產應用之消防機器人可協助早期偵蒐、滅火及影像傳輸、救援等功能。並從資訊彙整期間發現，現今消防機器人發展中，火場中期偵蒐或作為資訊傳遞中繼站等功能是消防應用機器人較為

缺乏的部分，而災害現場中可讓資訊向外傳遞之方式，是目前消防單位迫切希望突破的，因此當機器人訊息傳遞方式有重大突破時，將會更加確立機器人在消防救災任務上的效用。

一、彙整方式

目前坊間消防(救災)機器人以多功能性為主，分析其相對應的功能，可大幅增加特定場域的執行及運作效率。消防運用之四階段，可劃分為極早期偵蒐、燃燒初期、燃燒猛烈期與災後探勘救援等四階段，並針對各場域與各階段選擇合適之機器人。依照目前國內可見建築類別，大致可分為高層建築、木造建築、混凝土建築、管道線路、廠房、地下房屋及半開放空間等類型，當中又以高層建築、木造建築、混凝土、廠房建築為大宗。依照上述時間軸作為劃分依據將四階段時期之消防機器人應用，以各式機器人功能類別在各式場域可進行協助之效益進行整理，比較出擁有那些功能之機器人，在面臨何種環境時，具備著較佳的輔助效益。

二、成果應用

學術單位得以引用此研究之成果，機器人分類探討，將現有之機器人多功能項目進行整理，依照所需類別進行歸納，有利於後續研究對於提供火場消防協助時，給予更為準確的資訊，使指揮單位更能從錯綜複雜的機器人功能類別中，更有效的找尋出最合適之機器人種類，進行最符合預期效益之救災行。並針對台灣常見建築，如鐵皮屋、木屋、水泥牆等不同建築結構的測量數據，使國內研究與學術單位研擬對特定場域專門之機器人類型，或給予引進國外研發之救災機器人相關建議與考量因子，後續更可依照氣候、當下天氣狀況以及各處地形影響下，對於機器人功能發揮成效之差異程度進行評量，盡可能的將各種狀況細分，對於消防機器人普及性較高之地區，統整各區域消防任務輔助下的優劣差異，對此做更進一步的釐清，將機器人輔助效益最大化。

第二節 本計畫研究建議

本研究經過九個月縝密的資料蒐集、研究與系統開發建置，對於本計畫提出下列

建議：

建議一

辦理智慧物聯網平台及複合式火災感知系統技術應用研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：中華大學

本計畫建議使用物聯網平台進行整合的方式，將多元感知模組收集到的實際數值進行分類整合並套入至系統，在進行傳輸、上傳與下載數據的過程中，數據都可即時且準確的寫入資料庫，對於未來更大量資料的即時收集，將具有實質的應用協助。

建議二

辦理人工智慧應用於消防安全科技推廣工作：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部消防署、中華大學、財團法人台灣建築中心、中華民國全國建築師公會、中華民國消防設備師公會全國聯合會

本所將於 109 年辦理之「108 年度建築研究成果發表講習會」、「2020 前瞻建築防火科技研討會」進行人工智慧與消防科技有關專題報告，以推廣應用。

建議三

申請早期火災人工智慧分析預警相關專利：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：中華大學

人工智慧演算方式之成效，經由機器學習進行火災分析，預期可判斷起火區域，並經由火災場域資訊蒐集計算出火勢蔓延範圍，也可分析數值變化，將各式不同火災數據依照其分類法則進行分類，並可考量相關建材、建築結構設計，配合消防專業建議，故可考量對於新型火災預警技術之專利申請。

建議四

推動消防機器人應用於協助消防救災相關行動：中長期建議

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：行政院災害防救辦公室、內政部建築研究所、中華大學

本研究對各類型機器人在各式場合可做出的貢獻進行探討，研究不同類型機器人適合提供的幫助成效，將各式機器人進行功能類別方面之區分，並將災害發生之時間軸加以分類，使各功能之機器人對於各時間點之貢獻程度加以評估，幫助消防救災人員對於消防機器人使用效益多一些瞭解，以利於後續增加機器人進行火場極早期探勘等工作，盡可能減少第一線人員面對危險的機會。

參考資料

附錄一 採購評選會議紀錄審查意見及回應表

內政部建築研究所 108 年度「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」委託研究計畫案審查意見及廠商回應一覽表

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
蔡銘儒	火災熱煙對流時，系統供電、訊號與傳輸之總體性、可靠性、準確性要如何確保？	本計畫針對火災發生之早期進行相關研究，當火勢到達一定規模時，本計畫之研發成果將無法有效應用。
	當區劃空間之室內裝修更新形成空間動線之變動，在系統調整及更新時，以及更新後如何查證與確證？	智慧型避難引導系統為動態地圖型的避難引導系統，在動線規劃若與原先有所差異，僅需替換原先地圖將新式地圖導入即可，不須重新規劃系統即可運作。本系統是採以模組化形式建構而成，可藉由個別獨立模組形式進行系統更新與驗證。
	系統是否定期更新及維護，更新後系統查證與確證，另資安防護考量？	本系統在資訊傳遞過程皆以加密技術進行資料保密。
林大惠	開發 AI 技術應用於消防救災及火災前期探測預警有相當重要的前瞻價值。	感謝委員的肯定。
	研發領域相當寬廣，本案宜適當規範研究範圍，且適切規劃未來研發流程圖。	本計畫專注於消防與避難研究領域，本團隊將於報告書中規劃未來完整的研發流程圖。
	研究計畫人員宜增加具防火消防背景之專業人員，以充分掌握 AI 技術所需的應用領域資訊。	感謝委員的建議，本團隊將持續與防火消防相關專業背景之學者與專家進行密切討論，並將於多次的工作會議與專家學者座談會中邀請防火消防背景專業學者專家共同參與會，以充分掌握本計畫所需的防火消防之專業知識。
楊智斌	說明 AI 技術探勘的資料來源，及可能的資料蒐集方式	本研究將整合現今能控管多元感知器之物聯網雲端平台，透過此平台將可收集大規模的環境數據，將可使環境資訊能夠更加容易進行控管與分析。
	由於火災的發生皆為隨機，若火場沒有相關的設備建置，日後的研發成果如何因應？	智慧型避難引導系統建置之主要條件為環境中需已佈建相關之感測元件，若環境無感測元件佈建，將無法

		即時獲得環境資訊。
	本計畫是以”消防”為目的或”避難引導”，建議補充並確定	本計畫是以“消防”與“避難引導”雙重導向為計畫之目標。
	日後的開發的系統其技術限制(軟、硬體)，與使用情境建議，應明確定義與說明。	感謝委員建議，會將相關技術(軟、硬體)限制與使用情境建議加入報告書中，使本計畫定義更明確。
	對於欲解決的問題，而此問題並非現有技術能夠解決，而須利用 AI 來輔助，建議定義與說明清楚	本團隊將運用人工智慧技術來提升先期研究所提出之避難引導系統演算效率，並提升演算成果之精準度。
李清安	本計畫探討運用機器人進行火場資訊蒐集有關機器人於火場中可蒐集資訊為何?建議予以明確。	謝謝委員的建議，本計畫規劃之火場資訊蒐集機器人將可感測溫度、濕度、照度等多項環境數據。
	本計畫旨在探討消防救災安全及民眾疏散避難安全，在消防提升環境安全，降低火場風險及早期探知方面，建議了解、結合或比較同類，消防相關或同業開發設計技術，以利研究內容彙總	感謝委員的建議，本團會盡力將相似或相同領域之行業與研究團隊相關技術進行蒐集與探討，了解目前研究領域中發展之現況，並將相關資訊置入報告書中。
張敬桐	技術研發的成果，將如何運用在未來可能的使用者?如：消防隊、室內避難人員、中控室監控人員等。	本計畫產出之成果將能應用不同情境，如:消防指揮官能藉由本計畫之成果獲取火場室內相關之即時資訊;避難人員則能在避難過程中獲取避難指引;監控人員則能夠藉由系統了解避難狀態與環境狀態。
	火場監控之元件及避難引導設備涉及法定消防安全設備之審核認可及機制應如何克服?本身耐火性能如何?	本計畫研發成果應用於火災發生之早期偵測與避難，且不涉及法定消防安全相關規範，耐火性則依該設備之製造材質而定。
	從火場人員之定位到避難疏散引導措施，訊息之傳遞如何通知，否則將只論為現場狀態之模擬，無法達成避難引導之目標	在資訊傳遞方面可運用有線或無線傳輸方式，將資訊導出並進行後續應用與處理，在人員定位資訊亦可使用此方式處理。
	機器人設定預期為何?如何克服行動能力?操控單位之權屬為何?	機器人主要進行火災前期之起火點偵測及即時環境資訊之提供，操控單位可依實際情境來決定。
	火場感測元件之使用建議參考人體危害氣體之濃度界限	感謝委員建議，本團隊將朝此方向考慮。
蔡綽芳	對於避難引導系統的應用可再區分使用對象，如高科技或高危險廠房之應用進行修正以利推廣	感謝召集人的建議，報告書將朝此方向修正。

	<p>對於機器人發展應用，因為消防署之提議，主要支援消防應用，建議從文獻與訪談有救災經驗的人員確切了解火場困難和需求</p>	<p>感謝召集人的建議，本團隊會持續於未來的工作會議與學者座談會中邀請相關專業學者提供建議與指教，讓系統能夠更貼近領域應用來發展。</p>
	<p>請針對結合人工智慧與防火、消防科技之應用提出未來發展方法與議題</p>	<p>人工智慧與防火、消防技術整合方式，需藉由國內外相關文獻與專家之建議匯總後，進行討論與研擬，並將於後續報告中呈現。</p>

附錄二 工作會議記錄

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第一次工作會議記錄

壹、會議時間：108年02月15日(星期四)14時30分

貳、會議地點：內政部建築研究所(新北市新店區北新路三段200號13樓)

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、建研所：雷明遠研究員

二、中華大學：游坤明教授、陳昀暄教授、徐煥博、劉鍾興

三、邀請學者：林金宏組長(前內政部消防署署長)

伍、研究單位報告：

一、研究計畫簡報

二、計畫進度報告

陸、討論議題：

一、基於台灣建築物之特性，探討消防機器人應用於特定場域之可能性

柒、綜合討論建議：

一、此系統用於室內建築之早期避難疏導系統，藉由蒐集災害環境中資訊，能演算路徑，並可以依照環境狀況隨時動態改變路徑，亦能提供指揮官場域資訊輔助後續判斷。

二、在緊急災害場域，避難逃生是不容許出現錯誤引導狀況，因此團隊的避難引導路演算必須要準確。

三、過往技術礙於花費過高而無法達成，但環境因素讓本研究僅需要 tracmo 等物聯網裝置可完成室內定位，成本也比過往的技術低廉，且仍需考量數量以及配置所需。

四、災害環境主要的危險因素判斷可由火場起煙狀態進行判讀，不僅是煙霧流速等都會是火災成長的原因，因此團隊可由此方向演進室內避難路徑判斷。

五、可利用無人載具蒐集每次的災害資訊，則可視系統學習辨識蒐集之資料，幫助後續分析火勢變動與煙霧流動等進階辨識，與安全程度判斷，提供便於人員後續作業之資訊，避免勘查效用不佳的問題。

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究

- 六、現今場所使用消防機器人輔助救災並未普及，且消防機器人依舊有諸多盲點，建議團隊能夠整理相關資訊對於消防機器人評估，可多研究關於室內救災時機器人所能提供之功能，及其運用成熟度與所能承受之防煙、耐熱等程度、合乎室內建築救災等問題。
- 七、為使避難逃生演算更符合實際案例，近期將準備場地，進行火場實地測試，用以測試火場中感知設備運作情形，後續存取回傳數值使系統進行避難逃生演算，使其盡可能避免數據無法蒐集之情況。

捌、結論：

- 一、有鑑於過去成果，主要強調預警方面作用與人工智慧應用與機器人資訊蒐集
- 二、爾後提供一次實地災害演練，幫助蒐集災害現場場域資訊等重要資訊

玖、散會（下午17時00分）

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第二次工作會議記錄

壹、會議時間：108 年 03 月 19 日(星期三) 上午 10 時

貳、會議地點：中華大學 816 辦公室

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、中華大學：游坤明教授、陳昀暄教授、徐煥博、劉鍾興

伍、研究單位報告：

一、計畫進度報告

二、研究方案說明

陸、討論議題：

一、場域資訊與偵測數據類別討論

柒、綜合討論建議：

一、場域目前所提供之空間，因火點偵測與火勢蔓延等數據需要，會安裝 4 組以上感測模組蒐集做動數據。

二、實際安裝位置目前參考其他研究報告，多以天花板做為資訊蒐集之處，但還需與專家學者做最後確認。

三、感測模組購入設備：底層之 Arduino uno 與擴充版；有別於 2.4G 頻率通訊之 XBee (900Mhz)、XBee Arduino 轉接版、900Mhz 天線；耐高溫測量之 PT100 sensor、溫度轉換器 (0~5V@0~300°C)/24V、24V 電源；測量氣體之 Grove Multichannel Gas Sensor、MQ-136-硫化氫感測器模組、Oxygen O2 氧氣傳感器；以及提供移動網路之樹莓派 3B+/Zero W SIM7600CE 擴展板。

四、場域內未必隨時有電源可供應至各傳感裝置，因此，除了一般佈線延長電源供應範圍外，將依照上述感測器模組實際使用之電功耗，取得實際數值後，搭配足夠電量之電池模組進行獨立耗電測試。

五、機器人研究相關報告部份，需先確立火災發生時可加以定義分類的不同時期定義，以及當下場域狀態與類型，研究適合之機器人跟可協助之方式。

捌、結論：

一、依照上述討論之感測模組購入結果，於近期完成資訊蒐集所需格式，建置平台彙整資料之資料庫形式。

二、於月底前完成資料回傳之動作，以利場域空間有所更動時得以配合調整，並隨時驗證資訊蒐集之實際情況。

三、調查在不同火災時期，國內外文獻或實務上已使用合適的機器人，或是建議使用的機器人類型，以及機器人所能提供幫助的方式。

玖、散會（上午 11 時 30 分）

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第三次工作會議記錄

壹、會議時間：108 年 05 月 16 日(星期四) 10 時 00 分

貳、會議地點：內政部建築研究所討論室(一)

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、建築研究所：蔡綽芳組長、雷明遠研究員

二、中華大學：游坤明教授、陳昀暄教授、徐煥博、劉鍾興

三、邀請學者：林金宏組長、尚少華專委、陳盈月經理

伍、研究單位報告：

一、燃燒實驗起火環境氣體與溫度數據蒐集規劃簡報

陸、討論議題：

一、建研所燃燒實驗相關議題討論

二、氣體與溫度數據蒐集規劃建議

三、感測設備佈建方式討論與建議

柒、綜合討論意見：

一、為避免感測器在實驗場域內，因過高的溫度出現故障情形，以致於需要另行購置安裝的問題，初步規劃針對感測器安裝保護措施，同時，考量感測器的工作範圍限制，以避免感測器在保護措施下，無法進行資料蒐集與感測工作。

二、考量火災發生時，天花板的溫度升溫較快，測量也較為準確，因此感測器的安裝先以天花板為主，如果有其他疑慮，再考慮於牆面上 180 公分的位置，加裝感測器。

三、實驗場域的影像後續將會提供給中華大學團隊進行對照與解讀使用，另外，建研所也將會把影片剪輯，作為火場教材，提供給大家瞭解火場發生火災時的情況。

四、影響火場最大的兩個因素是火場的門窗位置。建議其中一組感測器可以放在正中央的位置，可以瞭解當火燒過來時候的順序以及時間差，也可以偵測實驗場域達到高溫狀態的時候，氣體的變化狀況。

五、門窗開口位置的數值也具參考價值，建議在成本允許的狀況下可以架設感測器。除了中央要設置感測器外，在牆面上也建議可以設置，作為對照組比較使用，來確保感測器的狀況。

六、考量實驗場域需要復原與確認，目前規劃 6 月進行 1 次實驗；7 月再進行第二次實驗。在實驗進行的過程中，另請成功大學研究生參與，協助支援資料與數據的蒐集。

七、建議可以在實驗場域內，除了原本攝像機之外，可以針對特定的三個方向新增設置三台紅外線熱像儀，可以與一般攝像機互相對照使用。

捌、結論：

- 一、天花板的機板建議要做一些隔熱的措施，避免機板燒壞。防護措施需要在第二次前往實驗場域時完成。
- 二、美國 NIST 機構有做了很多火災燃燒實驗，建議團隊可以參考網站上的資訊，去做一些感測器安排的調整。
- 三、感測器的部分建議可以多設置，但如果整體預算無法支持，在依序討論來刪除感測器。不然希望可以透過不同面向來蒐集資訊，讓這個計畫所獲取的資訊更具參考價值。
- 四、紅外線攝影機的由於拍攝角度問題，需請建研所協助提供腳架及設置。

玖、散會（上午 11 時 30 分）

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案燃燒實驗會議記錄

壹、會議時間：108年05月21日(星期一)下午4時

貳、會議地點：建研所第二會議室

參、主持人：陳盈月 經理

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、討論議題：

一、住房空間可燃物設定討論

二、實驗情境空間討論

伍、綜合討論事項：

一、場域目前所提供空間以部北為例，提供五人房長照機構住房，模擬火災成長情境，實驗隔間置頂的有無是否影響火跟煙擴散至其他房間。

二、建研所將藉由實驗中錄影的影像(一般攝像與熱顯像)與溫度數據，建立初期應變指引，供後續應變參考。

三、燃燒情況包含一床燃燒、一床灑水、隔間有無置頂、五床燃燒、床鋪下方燃燒、五分鐘關門等情境。

四、煙與熱從天花板蓄積向下，可能需將感測器載板置於非起火區或離火源較遠處，減少載板毀損情況下，將感測器拉線佈設於起火區域，盡可能增加資訊蒐集時間，如可延長至火災約2分半之數據偵測，CO濃度等重要資訊可提供當下人員應變參考。

五、我方借用紅外線攝影機提供影像比對，後續再討論儲存影像空間部分。

陸、結論：

一、預計六月第二週開始實驗，確切時間會再提前通知，多種實驗燃燒情況約於六月底前做完。

二、23日我方會與其他參與者進行場地勘查。

柒、散會(下午5時30分)

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第四次工作會議記錄

壹、會議時間：108 年 07 月 03 日(星期三) 14 時 00 分

貳、會議地點：內政部建築研究所討論室(一)

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、建築研究所：蔡綽芳組長、雷明遠研究員

二、中華大學：游坤明教授、陳昀暄教授、徐煥博、劉鍾興

伍、研究單位報告：

一、簡報

陸、討論議題：

一、建研所燃燒實驗相關議題討論

二、氣體與溫度數據蒐集規劃建議

三、感測設備佈建方式討論與建議

柒、綜合討論意見：

一、實驗火場所使用之顯像攝影機拍攝效果不好，由研究員提供建議應調整顯像儀的偵測區間，以提升顯像儀的拍攝效果

二、數據回收效果良好，但根據回收之數據可以了解感測器的耗損提高，下次實驗可能需要更換感測器。

捌、結論：

一、根據環境需求更換感測器。

二、熱像攝影機為管制品，在實驗開始前須到現場直接調整而無法借出。

三、攝影機拍攝位置因牆面或玻璃面阻擋而無法正確拍攝，應針對拍攝位置與角度進行調整。

玖、散會（下午 4 時 30 分）

內政部建築研究所

108 年委託研究「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」、
「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」及協同研究「長照機構全尺度
居室火災探測及滅火設備之實驗及驗證分析」等 3 案期中審查會議會議紀錄

- 一、時間：108 年 7 月 12 日（星期五）上午 9 時 30 分
- 二、地點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）
- 三、主席：鄭主任秘書元良 記錄：雷明遠、胡帷傑、廖浩仁
- 四、出席人員：（如簽到單）
- 五、主席致詞：（略）
- 六、業務單位報告：（略）
- 七、研究計畫簡報：（略）
- 八、出席人員審查意見：（依發言順序）

（一）「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」

沈教授子勝

1. 所用感測或結點運算應考量火場環境(如：煙、熱、水氣等)。
2. 建議從簡單之對象建築物開始。
3. 較特殊的火災案例，可作為參考對象。
4. 結合救災時，應考量救災人員之安全。

林教授文興

1. 儀器設備,專業術語，建議有一章節說明其定義及功能。
2. 儀器偵測之參數，信號傳輸方式，整合平台及傳輸方式應有一明確之流程圖表示及說明？輸出為數據？或以圖控指示最佳逃生路徑？
3. P.56 燃燒實驗會議，預計六月底完成試驗，應將實驗配置，火災規模，試驗成果在報告中說明。

周組長文智

1. 研究方向預期成果可行。
2. 研究成果，如何運用在現有建築物，應具體可行是很重要的課題。
3. 未來運用在任何建物的規劃設計費用之分析比較請提供，俾利消防機關來推動。

陳建築師信全

1. 建議探討如何運用及實現與消防設備如何結合？
2. 探討如何早期預警，提供業主及早因應。

張理事長敬桐

1. 不同空間內由於可燃物排列、起火點、起火方式、內外氣流流通因素之差異，火場動態之推估難度很高，需要更多火場大數據紀錄支撐。
2. 火災初期提供動態避難引導之設施，與既有法定標示設備之競合關係為何？
3. 火場內資訊蒐集系統(含機器人)如何將最新訊息通達救災人員，有無 APP 之開發，可應用物聯網資源。

林教授大惠(書面意見)

1. 現行火災探測預警以偵煙或偵溫來適時給予警報，或是自動撒水措施，本案加上人工智慧技術，有其前瞻研發概念，但依目前期中報告內容尚未看出人工智慧演算邏輯，如何與火場煙流和溫度變化或其他環境因子之相關性。火災的主要關鍵知識(domain knowledge)需要融入人工智慧運算中。
2. 本案研討內容偏向物聯網平台技術，缺乏人工智慧技術所需的大數據分析和機器學習(machine learning)的參數設定和火場特性關聯性分析。

韓教授欽銓(書面意見)

1. 本計畫已初步進行燃燒實驗規劃，並於實際場域進行相關感測器與平台佈建，已按照規劃進度執行。
2. 計畫以 IoT Talk 為資料傳輸平台，其感測器量測的資料介面、裝置的佈建程序都需要專業的人員進行安裝與測試，是否可以發展較為便利平台與感測硬體裝置，讓一般使用者可以直接使用，無須複雜的設定。
3. 目前為環境建置與資料蒐集，將來將資料輸入人工智慧模組，進行火災議題判讀與預測，但目前議題與方法仍不明確，且其研究議題範圍非常廣泛，建議先行鎖定較明確議題，進行研究。
4. 設計機器人進入火場勘查雖為下半年進度，但仍需考量火場高溫與能見度低的惡劣環境因素。

中華民國全國建築師公會(楊勝德建築師)

1. 建築物防火區劃，大空間一般是固定不動，遇到局部空間變更，屬於動態的，引導系統是否能快速修正？
2. 起火面積與隔間置頂與否等因素，探討火勢成長與煙流之差異。

中華民國消防設備師公會全國聯合會(劉秘書長大衛)

1. 一般火警探測器在火場中僅可持續數分鐘功能，本案欲量測不同氣體而須持續較久時間，建議應採第 5 代探測器觀念，即利用吸管將煙氣吸至室外，探測器位於防護區，不受火場影響而能長時間偵測分析。
2. 本系統與避難引導系統連結時，該系統需要龐大記憶體容量，因此超高層、大型商(賣)場等設備容量大，才可能接受各種探測器訊號，且須使用前述設計觀念，否則可能全

然失效。

雷研究員明遠

1. 藍牙精準定位要如何確定精準程度，有無參考依據？請說明。
2. 本案有關人工智慧演算法請補充說明是何種方式？採用原由？

鄭主任秘書元良

1. 本研究感測裝置使用之傳輸線路，究為有限或無線，請予說明？
2. 本研究重點應為預警人工智慧技術與消防救災結合，但目前研究似仍以建築物逃生避難系統為主，請問目前研究之系統如何將資訊傳送給消防救災人員？

執行單位回應(計畫主持人游教授坤明)：

1. 本研究所使用之感測裝置皆以無線傳輸為主，以因應火場之複雜環境(如：煙、熱、水氣等)。同時，在節點位置皆運用防火或隔熱材質，進行包覆以延長感測裝置之工作時間。
2. 本研究後續不排除與智慧型避難引導系統整合，使指揮官能夠取得更多室內環境資訊以確保救災人員之安全。
3. 系統總體流程圖與說明於期中報告書中第 30-31 頁，在說明內容中或許有部分不明確之處，我們將會對報告書中的流程圖與架構圖進行修正，並進一步詳細說明。
4. 原預計六月底完成之燃燒實驗，因係配合其他計畫於 7 月 11 日進行，期中報告在實驗開始前已完成，故無法加入實驗成果，後續會將實驗成果補充至期末報告書中。
5. 火場環境數據感知極為不容易，因實驗經費高昂且不易進行，承蒙另案同意，讓本計畫一同進行長照機構居室火場環境監測實驗，若後續有其他相關實驗，本研究也期能參加，持續蒐集並建立火場大數據資料。
6. 人工智慧技術須依靠大數據資料之收集後再進行分析或預測，此部分之工作屬於本計畫下半期之工作項目。本計畫預計可將利用物聯網平台收集的數據，進行特徵值之設定，並利用機器學習技術等演算法進行數據之訓練及測試，以提供火災之預測。
7. 感謝各專家、代表提供寶貴意見，其餘意見將參酌予以修正。

九、會議結論：

(一) 本次會議 3 案期中報告，經審查結果原則通過；請業務單位將與會審查委員及出席代表意見暨部分委員之書面意見詳實記錄，供執行團隊參採，納入後續事項積極辦理，並於期末報告妥予回應，如期如質完成。

(二) 委託研究計畫請儘速依約辦理請領第 2 期款，並請業務單位依規定時程管控作業進度。

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究

十、散會（中午 12 時 30 分）

期中審查意見回應表

委員	審查委員意見 (依發言順序)	廠商回應
沈子勝	1. 所用感測或結點運算應考量火場環境(如: 煙、熱、水氣等)。	本研究所使用之感測裝置皆以無線傳輸為主, 以因應火場之複雜環境(如: 煙、熱、水氣等)。同時, 在節點位置皆運用防火或隔熱材質, 進行包覆以延長感測裝置之工作時間。
	2. 建議從簡單之對象建築物開始。	感謝委員建議。
	3. 較特殊的火災案例, 可作為參考對象。	感謝委員建議。
	4. 結合救災時, 應考量救災人員之安全。	感謝委員提醒, 本研究後續不排除與智慧型避難引導系統整合, 使指揮官能夠取得更多室內環境資訊以確保救災人員之安全。
林文興	1. 儀器設備, 專業術語, 建議有一章節說明其定義及功能。	感謝委員建議, 將於報告書內進行修正。
	2. 儀器偵測之參數, 信號傳輸方式, 整合平台及傳輸方式應有一明確之流程圖表示及說明? 輸出為數據? 或以圖控指示最佳逃生路徑?	系統總體流程圖與說明於期中報告書中第 30-31 頁, 在說明內容中或許有部分不明確之處, 我們將會對報告書中的流程圖與架構圖進行修正, 並進一步詳細說明。
	3. P.56 燃燒實驗會議, 預計六月底完成試驗, 應將實驗配置, 火災規模, 試驗成果在報告中說明。	原預計六月底完成之燃燒實驗, 因某些原因延遲至 7 月 11 日開始, 而本期中報告在實驗開始前已完成, 故無法加入實驗成果, 後續會將實驗成果補充至報告書中。
陳信全	1. 建議探討如何運用及實現與消防設備如何結合?	消防設備(如: R 型受信總機)一般是較為封閉的系統, 若建研所能協助介紹願意嘗試整合的設備廠商, 將有機會實現本研究成果與現有消防設備整合的可能性。
	2. 探討如何早期預警, 提供專任及早因應。	本研究能夠與智慧型避難引導系統整合, 能將早期探知之資訊分享給中控系統, 讓中控人員能夠取得環境監測狀況與早期預警資訊。
張敬桐	1. 不同空間內用於可燃物排列, 起火點、起火方式、內外氣流流通因素之差異, 火場動態之	火場環境數據感知極為不容易, 因實驗經費高昂且不易進行, 承蒙 “長照機構居室全尺寸火災特性實驗及應用

	<p>推估難度很高，需要更多火場大數據紀錄支撐</p>	<p>研究”計畫主持人陳盈月經理同意，讓本計畫一同進行長照機構居室火場實驗，若後續有其他相關實驗，本研究也期能參加，持續蒐集並建立火場大數據資料。</p>
	<p>2.火災初期提供動態避難引導之設施，與現有發定標示設備之競合關係。</p>	<p>動態避難引導為先期研究所提供之技術，在整合本計畫之早期預警能夠有效提升室內環境警示之安全，本研究皆採用以輔助之角度與現有消防設備與現有標示進行配合。</p>
	<p>3.火場內資訊蒐集系統(含機器人)如何將最新訊息通達救災人員，有無 APP 之開發，可應用物聯網資訊。</p>	<p>在前期研究”智慧型避難引導系統”，曾與消防署研發之 Fire Command 指揮官系統整合過，後續研究不排除與智慧型避難引導系統整合，使火場指揮官能夠取得更多室內環境資訊以確保救災人員之安全。另外在先前計畫中本研究曾開發相關 APP 與數位電子看板等，提供避難者進行資訊參考。</p>
<p>楊勝德</p>	<p>1.建築物防火區劃，大空間一般是固定不動，遇到局部空間變更，屬於動態的，引導系統是否能快速修正？</p>	<p>智慧型避難引導系統所使用的演算法，主要是最短路徑的複合型整合演算法，在反應時間中能夠低於1秒即可計算完成，可快速反應並且修正新路徑。</p>
	<p>2.起火面積與隔間置頂與否等因素，探討火勢成長與煙流之差異。</p>	<p>從實驗中已經取得部分氣體數據，將會由氣體數據進行分析了解火場環境狀況。</p>
<p>林大惠</p>	<p>1.現行火災探測預警之偵煙或偵溫來適時給予警報，或是自動灑水措施，本案加上人工智慧技術，有其前瞻研發概念，但依目前前期中報告內容尚未看出人工智慧演算邏輯，如何與火場煙流和溫度變化或其他環境因子之相關性。火災的 domain knowledge 需要導入人工智慧運算中</p>	<p>透過氣體及溫度感測器的數據收集後，可利用人工智慧技術建置相關預測模型，採用機器學習演算法或深度學習演算法進行火災發生時程或火場煙流變化的預測，以提供消防決策人員有效的火場相關資訊。依照計畫執行進度規劃，人工智慧部分之研究將自期中審查後啟動，預計使用深度學習技術進行相關研究。</p>
	<p>本案研討內容偏向物聯網平台技術，缺乏人工智慧技術所需的大數據分析和 machine learning 的參數設定和火場特性關聯性分析</p>	<p>人工智慧技術須依靠大數據資料之收集後再進行分析或預測，此部分之工作屬於本計畫下半期之工作項目。本計畫預計可將利用物聯網平台收集到的氣體及溫度數據，透過偵測時間點、溫度、氣體型態、</p>

		火災狀態進行特徵值之設定，並利用機器學習技術之線性規劃等演算法進行數據之訓練及測試，以提供火災進程之預測。
雷明遠	1. 藍牙精準定位要如何確定精準程度，有無參考依據？請說明。	藍牙技術所使用方式為三點定位及相對定位之交互參考方式，運用藍牙 5.0 的訊號傳輸強弱(RSSI)，來取得裝置與設備的相對位置，以及室內空間的真實位置來計算避難者或人員在室內環境的位置。
	2. 本案有關人工智慧演算法請補充說明是何種方式？採用原由？	依照計畫執行進度規劃，人工智慧部分之研究將自期中審查後啟動，預計使用深度學習技術進行相關研究。

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第五次工作會議記錄

壹、會議時間：108 年 08 月 14 日(星期四) 14 時 00 分

貳、會議地點：內政部建築研究所討論室(一)

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、建築研究所：蔡綽芳組長、雷明遠研究員

二、中華大學：游坤明教授、陳昫暄教授、徐煥博、劉鍾興、童尚偉

伍、研究單位報告：

一、燃燒實驗成果與環境氣體、溫度數據蒐集過程簡報

陸、討論議題：

一、實驗後缺失檢討

二、實驗拍攝影像探討

三、藍牙使用於室內定位之技術探討

柒、綜合討論意見：

一、本次實驗在實驗過程出現人為缺失，導致實驗數據並未如期回收，感測數據也無法正確取得，經過此次經驗，往後所有實驗開始後必須要加以確認所有設備之狀況。

二、根據此次的缺失發現叢集設備會因為重新接電後產生無法自行執行背景程式狀況，推測為數據連接埠阻塞導致，根據此問題本研究後續將改為藍牙連接方式來整合叢集設備與接收段之間的應用方式，以避免後續設備產生連接失誤。

三、本次實驗的影像資訊取得良多，與第一次的實驗影像相比清楚許多，而遠紅外線影像在不被玻璃面阻擋而直接由門口拍攝，能夠明顯看出火災的成長情勢。

四、室內定位將以藍牙 5.0 技術做為定位應用方式，本研究則選擇使用由串雲科技設計開發之 tracMo 以及其 tracMo Station 來作為室內定位設備。

捌、結論：

一、室內定位技術將以中華大學 AI+體驗中心做為實驗場域進行測試。

玖、散會（上午 11 時 30 分）

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第一次專家座談會會議記錄

壹、會議時間：108年09月27日(星期一) 10時15分

貳、會議地點：大坪林聯合開發大樓13樓討論室(一)

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、專家學者：

內政部消防署搶救組 莫懷祖 組長

新北市消防局 尚少華 專門委員

台灣建築中心安全防災部 陳盈月 經理

台北大學資訊工程學系 陳裕賢 教授

聯合大學資訊工程學系 韓欽銓 教授

二、建研所：蔡綽芳組長、雷明遠 研究員

三、中華大學：游坤明教授、陳昫暄教授、徐煥博、劉鍾興

伍、研究單位報告：

一、目前研究成果簡報

陸、討論議題：

一、火災實驗數據探討

二、實驗結果檢討

三、機器人分類與探討

柒、綜合討論意見：

一、將蒐集之火場數據依照各樣本類型分類，探討分析時增加氣體後為何預測成功率不增反減。

二、建議做模型訓練時應考量場域當下空間的燃燒材質，會導致特定的氣體濃度增加，進而影響結果。

三、每次選取模型(model)時，可依照不同時間點來選取感測器距離火點距離不一樣的樣本，來推斷適用的場合訓練模型。

四、機器人早期探勘之功能應較有幫助，因中後期有很多場域條件無法克服，例如溫度等。現今較成熟的機器人有戶外型的滅火機器人、可使用於特定化學物質的消防機器人、使機器人行走於特定路線之方式。後續期盼可運用固定間隔回傳資訊，達成定時呼叫的防

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究
護功能機制。

捌、結論：

- 一、後續工作可朝向識別出室內燃燒物體為何的方向邁進，並探討各式機器人硬體外層可承受之溫度，以及各硬體(IC板)可行的工作溫度，後續也可將機器人當作通訊中繼站，減少火場的通訊死角。
- 二、探討目前實驗所獲取之數據結合方式，如何縮短判斷時間及發現火源。
- 三、消防機器人依照各式功能方式進行劃分，並依照時間軸將其切割找出機器人之定位。

玖、散會（下午 12 時 00 分）

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第六次工作會議記錄

壹、會議時間：108 年 10 月 01 日(星期二) 10 時 00 分

貳、會議地點：中華大學 816 辦公室

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、中華大學：游坤明教授、陳昀暄教授、徐煥博、劉鍾興

伍、研究單位報告：

一、火場數據研究成果、機器人分類規劃與藍牙場域設置規劃報告

陸、討論議題：

一、消防機器人整理

二、火場數據使用機器學習之應用

三、藍牙技術探討(使用於室內定位)

柒、綜合討論意見：

一、火場實驗之成果，使用第一次感測數據，並對照第二次實驗之影像資料進行對照，並將各類型感測數據進行整理，決議使用一氧化碳、二氧化碳、硫化氫與溫度等，火場影響程度較大之數據類型進行預測，並以 CO+H₂S+TEM 三種數據類型進行綜合預測，使用正規化並汰除異常數值，結果約 85.2% 為基準，將其他數據類型排列組合進行分析。

二、室內定位以串雲科技設計開發之 tracMo 以及其 tracMo Station 來作為室內定位設備，預期使用五座 tracMo Station 設立於中華大學 AI+體驗中心教學區域進行室內定位分析預測。

三、消防機器人可劃分為極早期偵蒐、燃燒時期與災後探勘救援等三階段，並針對各場域與各階段選擇合適之機器人。

捌、結論：

一、使用五座 tracMo Station 進行室內定位測試。

二、將消防機器人依照各類型功能，以表格化方式呈現各時段區間之效用與其預期的輔助成效。

玖、散會(上午 11 時 30 分)

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究
內政部建築研究所

108年委託研究「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」、「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」及協同研究「長照機構全尺度居室火災探測及滅火設備之實驗及驗證分析」等3案期末審查會議會議紀錄

- 一、時間：108年10月30日（星期三）上午9時30分
- 二、地點：本所簡報室（新北市新店區北新路3段200號13樓）
- 三、主席：鄭主任秘書元良 記錄：雷明遠、詹家旺、廖浩仁
- 四、出席人員：（如簽到單）
- 五、主席致詞：（略）
- 六、業務單位報告：（略）
- 七、研究計畫簡報：（略）
- 八、出席人員審查意見：（依發言順序）

（一）「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」

江教授崇誠

1. 熱顯像儀數據，有無整合入AI系統可能？
2. Sensor裝置位置對於監測效能影響？日後有何注意要點？
3. 就實驗(全尺寸燃燒)直接觀察與數據與機器監測判斷的一致性為何？

林教授文興

1. 報告書中圖、表請中文化(如圖3-2，3-14~16等)。
2. 機器人使用之限制條件(如室內、樓梯等之需求)？
3. Gas Sensor可採集七種氣體，可否列出各種氣體之標準關鍵濃度值，使能在不同關鍵危害值，或不同階段發出警示訊號。
4. Gas Sensor已可偵測到CO、CO2濃度，是否還須各別考慮CO、CO2 Sensor，請考量。

高組長文婷

建議因應三讀通過之消防法有關「資訊權」的完成立法，本案在探討人工智慧運用於消防救災的同時，應有增加運用個別空間資訊輸入(如化學物品之存量配置)以利多元判斷的廣度。

張組長裕忠

1. 建議能強化說明本案研究範圍與限制。
2. 報告集中於文獻蒐集，對預期成果部份之避難系統引導或運作似未加以著墨，宜加以論述。
3. 本案運用人工智慧(早期偵知)如何與現行法規避難設備部分結合，如何落實於實務面，宜加強論述。

4. 對未來整體整合成果或初期規劃宜加強論述。

張理事長敬桐

1. 火場偵測設備之應用，材質、火災忍受度之選用，須考量火場現況如：能見度、溫度、煙毒污染等，以確保應用性及可靠度。
2. 藍芽定位設備應用時機之釐清，是適用在火災初期引導疏散用?或火災人員搜救期間或火災搶救定位消防人員?

韓教授欽銓

1. 以人工智慧技術，應用於早期火災預警是新的嘗試，值得肯定與後續推廣。
2. 以IoTalk為物聯網平台，可以方便建築物各類型sensor佈建，是一個方便、有效的平台。
3. 人工智慧技術用於各項資料的預測，是非常複雜問題，本計畫已有初步的成果，建議後續再深入研究，做精準預測，提供消防人員對現場資訊整合與判斷。

社團法人台灣長期照顧發展協會全國聯合會(吳第明常務監事)

長照機構一般都是最末端執行研究成果，感謝使用省成本藍芽新技術作定位系統強化環境狀態監控，協助室內環境預警通報及火源探知，長照機構要做的就是有效使用及節省成本。

雷研究員明遠

1. 關於早期預警技術，建議可增加不同氣體組合(如NH₃+CO, NH₃+TEMP)或氣體濃度加影像組合的機器學習應用，或許能有更佳預測結果。
2. 機器人運用在燃燒猛烈期的呈現(如簡報投影片P.76)，建議比照其他時期呈現方式。

蔡組長綽芳

1. 本計畫以智慧技術為主題，跨越火災極早期偵測、避難引導、火場救援等火災整體時間軸，主要是希望透過研究帶動建研所逐步進展到防災智慧化與人工智慧機器學習之研究領域。
2. 使用CO預測成功率92.6%，增加其他氣體後降為85.2%，建議補充說明預測成功率之定義及預測數值差異的原因。
3. 目前市場上已發展出小型室內機器人，可偵測火災、防止誤報，並可自行移動到該火災位置滅火，顯示火災預測模式可能已逐漸成熟，建議調查該機器人預測模式與我們的預測模式有何差異?
4. 偵測及傳輸系統必須能應用在不同的火災階段，文獻顯示機器人係利用外殼防火及自己撒水功能來進行防護，建議本研究能增加說明各式偵測儀器及機器人承受高溫極限，以及RC構造可能對通訊系統的屏蔽障礙，以瞭解機器人之發展限制以及未來可能之解決對策。

鄭主任秘書元良

本研究人工智慧技術感測器，所測得之資料經傳送後端平台運算分析後如何將資訊傳送給火災現場消防救災人員?

執行單位回應(計畫主持人游教授坤明)：

1. 之前全方位智慧導引避難系統資料蒐集平台，運算出避難路徑後即時傳送給消防署救災指揮系統及現場救災指揮官的平板以瞭解火災現場相關資訊，而不同的Sensor裝置偵測

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究

位置會直接影響回傳之數據，對於人工智慧分析結果也會有所差異。Sensor裝置應依據室內空間之特性來佈建，才能有效收集火災情境中氣體濃度的變化，以提升人工智慧分析之精確度。

2. 全尺寸燃燒實驗是以蒐集環境溫度變化與觀察煙霧與起火的成長況狀，在本研究裝設之感測器與全尺寸燃燒實驗的相同位置節點可以取得相同的線性分布，因此可以推斷溫度感測相當一致。

3. CO、CO₂為火場重要觀測之氣體，因此除了使用複合式的Gas Sensor，同時使用特定之CO、CO₂感測器，以確保資料收集之可靠度及增加測量精準度。

4. 將於報告書內補充說明火場較具參考性氣體對於人員危害之標準關鍵濃度值。

5. 「資訊權」的完成立法將有助於消防救災效率之提升，如何有效運用個別空間資訊來提高多元判斷的廣度，將可作為未來研究之重要方向。

6. 為確保於火場中感測器設備的耐用性，除感測器材質選用耐高溫外，也對各感測器做外層防護；機器人部分，會因不同場域而選用不同類型之機器人，以確保運作時可發揮其最大效益。

7. 本計畫中藍芽定位設備適用於火災初期引導疏散用。

8. 多種組合的氣體濃度數據可利用機器學習技術得到快速的數據訓練與預測。另一方面，對於影像的訓練與預測則需進一步使用深度學習技術來進行。若將氣體濃度加上影像組合進行深度學習模型之訓練，其模型複雜度將相對提高許多，但可能獲得一個更精準的預測結果，上述建議將可作為未來研究之重要方向。

9. 機器人資料蒐集會因廠商、公司之資料釋出而定，並對於材質承受度再作進行進一步分析。通訊部份因現今通訊技術在穿透水泥牆時會迅速衰減，因此若需強化傳輸功能，尚須等待更新之傳輸技術方可實現。

10. 感謝各專家、代表提供寶貴意見，其餘意見將參酌後增修於成果報告書。

九、會議結論：

(一) 本次會議3案期末報告，經審查結果原則通過；請業務單位詳實記錄審查委員、出席代表及書面意見供執行團隊參採，於報告中妥予回應。委託研究案應依本部規定格式繳交成果報告，協同研究案請依本所規定格式繳交資料蒐集分析報告。

(二) 請注意圖示與圖表之智慧財產權，如有引述相關資料，須註明來源。報告結論與建議事項應考慮具體可行；並鼓勵將研究成果投稿相關學報或期刊。

十、散會（中午 12 時 30 分）

期末審查意見回應表

委員	審查委員意見（依發言順序）	廠商回應
江崇誠	1.熱顯像儀數據，有無整合入AI系統可能？	熱顯像儀之影像可作為人工智慧系統之輸入資料集，但需先進行影像篩選與訓練。本年度計畫並未包含此項整合工作，但可作為未來研究之重要方向。
	2.Sensor 裝置位置對於監測效能影響?日後有何注意要點?	不同的 Sensor 裝置偵測位置會直接影響回傳之數據，對於人工智慧分析結果也會有所差異。Sensor 裝置應依據室內空間之特性來佈建，才能有效收集火災情境中氣體濃度的變化，以提升人工智慧分析之精確度。
	3.就實驗(全尺寸燃燒)直接觀察與數據與機器監測判斷的一致性為何？	全尺寸燃燒實驗是以蒐集環境溫度變化與觀察煙霧與起火的成長沉狀，在本研究裝設之感測器與全尺寸燃燒實驗的相同位置節點可以取得相同的線性分布，因此可以推斷溫度感測相當一致。
林文興	1.報告書中圖、表請中文化(如圖 3-2，3-14~16 等)。	感謝委員建議，將於報告書內進行修正。
	2.機器人使用之限制條件(如室內、樓梯等之需求)？	對於機器人場域應用方面，將於報告書內詳細說明。
	3.Gas Sensor 可採集七種氣體，可否列出各種氣體之標準關鍵濃度值，使能在不同關鍵危害值，階段發出警示訊號。	感謝委員指教，將於報告書內補充說明火場較具參考性氣體對於人員危害之標準關鍵濃度值。
	4.Gas Sensor 已可偵測到 CO、CO2 濃度，是否還須各別考慮 CO、CO2 Sensor，請考量。	CO、CO2 為火場重要觀測之氣體，因此除了使用複合式的 Gas Sensor，同時使用特定之 CO、CO2 感測器，以確保資料收集之可靠度及增加測量精準度。
高文婷	1.建議因應府三讀通過之消防法有關「資訊權」的完成立法，本案在探討人工智慧運用於消防救災的同時，應有增加運用個	「資訊權」的完成立法將有助於消防救災效率之提升，如何有效運用個別空間資訊來提高多元判斷的廣度將可作為未來研究之重要方向。

	別空間資訊輸入(如化學物品之存量配置)以利多元判斷的廣度	
張裕忠	1.建議能強化說明本案範圍與限制。	感謝委員指教，將於報告書內補充說明本案範圍與限制。
	2.報告集中於文獻蒐集，對預期成果部份之避難系統引導或運作似未加以著墨，宜加以論述。	感謝委員指教，將會於報告書中加強說明避難系統之說明。
	3.本案運用人工智慧(早期偵知)如何與現行法規避難設備部分結合，如何落實於實務面，宜加強論述。	感謝委員指教，將會加強論述人工智慧實際應用之說明。
	4.對未來整體整合成果或初期規劃宜加強論述。	感謝委員指教，將會加強說明整合之成果說明。
張敬桐	1.火場偵測設備之應用，材質、火災忍受度之選用，須考量火場現況如：能見度、溫度、煙毒汙染等，以確保應用性及可靠度。	為確保於火場中感測器設備的耐用性，除感測器材質選用耐高溫外，也對各感測器做外層防護；機器人部分，會因不同場域而選用不同類型之機器人，以確保運作時可發揮其最大效益。
	2.藍牙定位設備應用時機之釐清，適用在火災初期-引導疏散用或火災期間，人員搜救期間或火災搶救-定位消防人員？	感謝委員指教，藍牙定位設備適用於火災初期-引導疏散用。
韓欽銓	1.以人工智慧技術，應用於早期火災預警是新的嘗試，值得肯定與後續推廣。	感謝委員肯定。
	2.以 IoTtalk 為物聯網平台，可以方便建築物各類型 sensor 佈建，是一個方便、有效的平台。	感謝委員肯定，使用 IoTtalk 並可系統化管理大量佈建之 Sensor，在使用上增加不少便利性。
	3.人工智慧技術用於各項資料的預測，是非常複雜問題，本計畫已有初步的成果，建議後續再深入研究，做精準預測，提供消防人員對現場資訊整合與判斷。	感謝委員肯定，後續將會針對人工智慧預測部分繼續進行研究。
雷明遠	1.關於早期預警技術，建議可增加不同氣體組合(如 NH ₃ +CO, NH ₃ +TEMP)或氣體濃度加影像組合的機器學習應用，或許有更佳預測結果。	感謝委員指教，多種組合的氣體濃度數據可利用機器學習技術得到快速的數據訓練與預測。另一方面，對於影像的訓練與預測則需進一步使用深度學習技術來進行。若將氣

		體濃度加上影像組合進行深度學習模型之訓練，其模型複雜度將相對提高許多，但可能獲得一個更精準的預測結果，上述建議將可作為未來研究之重要方向。
	2. 機器人運用在燃燒猛烈期的呈現(如簡報投影片 P.76)建議比照其他時期方式(依功能)。	感謝委員建議，將於報告書及投影片進行修正。
楊勝德	無意見。	
蔡綽芳	1. 關於計畫鎖定之重點，不單只有火災極早期時段，而是擴及火災整體時間軸之疑慮，此研究方式可帶動建研所防災智慧化與人工智慧機器學習之成效。	感謝組長對於研究之肯定。
	2. 使用 CO 預測成功率 92.6%，增加氣體後為 85.2%，是否能詳細定義成功預測之分析說明？	回傳氣體越多，變數越多，建立之模型未必更適合，需繼續訓練與調整。後續會在報告書中對於資料清理與分類做更詳盡之說明。
	3. 機器人進步到可偵測火點，並自動滅火，顯然此預測模式已市場化，可否市調上述預測模式與我方預測模式之差異？	機器人廠商資訊釋出不完整，會導致機器人材質資訊蒐集不完備，本團隊會繼續蒐集相關資訊並加以比對。
	4. 偵測方面，運用火災不同階段，機器人可做出耐高溫、灑水防護等動作，可否找出機器人之承受極限值；傳輸系統，通訊可否穿透 RC 建築物，但因居室限制，就無作用能力，此部分可否協助補充？	機器人資料蒐集會因廠商、公司之資料釋出而定，並對於材質承受度再作進行進一步分析。通訊部份因現今通訊技術在穿透水泥牆時會迅速衰減，因此若需強化傳輸功能，尚須等待更新之傳輸技術方可實現。

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第七次工作會議記錄

壹、會議時間：108 年 11 月 11 日(星期一) 10 時 15 分

貳、會議地點：中華大學 816 辦公室

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、中華大學：游坤明教授、陳昀暄教授、徐煥博、劉鍾興

伍、研究單位報告：

一、目前研究成果與藍牙實測報告

陸、討論議題：

一、機器人資料彙整方式與應用方式

二、藍牙定位成效探討

柒、綜合討論意見：

- 一、消防運用之時間區分，可劃分為極早期偵蒐、燃燒初期、燃燒猛烈期與災後探勘救援等四階段，坊間消防機器人可協助早期偵蒐、滅火及影像傳輸、救援等功能，因此在提出消防機器人功能時，需將各時段區間依照各式建築特性作為功能輔助效益優劣之依據。
- 二、本研究使用中華大學的 AI+體驗中心作為 RTLS 系統的測試環境，在場域周邊佈設 5 組 tracMo Station 作為基訊號識別位置，並且給定各點座標，透過 tracMo Station 與 Wi-Fi 連線，讓 tracMo Station 能夠識別室內標籤所發出之訊號強弱程度並將其回傳。而室內使用 5 個 tracMo 標籤任意撒放來測試設 RTLS 的偵測效果，蒐集各距離藍牙設備發射出的訊號值，統計其設備訊號趨勢圖，並利用三角定位方式，將室內地圖座標化，取出直線距離，將定點的座標透過系統進行計算，得出目標物之座標值。在同一網域下 RSSI Server 會負責將廣播網域中的回傳數據進行接收，並透過數據清洗方式將數據進行有效性的距離識別，在此實驗當中，本研究使用 tracMo 訊號標籤(tag)所發出之訊號強度，並依照 tracMo Station 與 tracMo 的距離長短整理出訊號值與距離之關係斜率來做為距離與訊號之間的轉換，透過訊號強弱值讓 RSSI Server 輔助選擇最近的三點 tracMo Station 做為定位源，並根據轉換後的訊號距離值以及定位節點進行三點定位計算，最後透過距離補償方式提升標籤的準確程度以避免定位發散。透過上述方法即可以取得室內標籤的定位座標，來得知標籤於室內環境中的位置。

捌、結論：

- 一、在實驗過程中也發現訊號較為強的標籤的浮動較為平緩，因此透過多個 tracMo

Station 的架設不僅可以有效提升精確狀況，也能夠拓展定位位置，誤差值約為一公尺以上二公尺以內的落差，後續本研究將針對 RSSI 訊號處理狀況進行分析與處理使得訊號與距離轉換程度能夠更為精準，讓室內定位更為準確。

玖、散會（下午 12 時 00 分）

早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究

內政部建築研究所委託辦理「早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究」研究案第二次專家座談會會議記錄

壹、會議時間：108年11月22日(星期五)15時40分

貳、會議地點：大坪林聯合開發大樓15樓第4會議室

參、主持人：游坤明 教授

記錄：徐煥博、劉鍾興

肆、出席人員：

一、專家學者：

內政部消防署搶救組 莫懷祖 組長

新北市消防局 尚少華 專門委員

聯合大學資訊工程學系 韓欽銓 教授

清華大學資訊科學研究所 唐文華 教授

宜蘭大學資訊工程學系 林斯寅 副教授

二、建研所：蔡綽芳組長、雷明遠 研究員

三、中華大學：游坤明教授、陳昀暄教授、徐煥博、劉鍾興

伍、研究單位報告：

一、目前研究成果簡報

陸、討論議題：

一、各式消防救災機器人應用時機與場域探討

二、藍牙室內定位探討與建議

三、燃燒數據數值異常分析與探討

柒、綜合討論意見：

一、本團隊先前在燃燒實驗所獲得之數據主要為提供極早期時期之應用，目前火場資訊傳遞至系統後，使用線性回歸演算法作為機器學習演算方式，並提供火場資訊給救火相關人員，使其有更多可供決策判斷之依據。

二、藍牙定位經由室內定位實驗可呈獻人員室內位置，並討論佈局方式以及藍牙精準度之容錯率，未來預計提供致場域避難人員使用。

三、影像及煙流配合火場數據，未來可往異質性資料整合方向進行分析，提供預測方式更多元化之分析。

捌、結論：

一、火場數據分析演算方式與不同類型資料結合，未來可提供不同方向之異質性資料整合，

使預測方式具有不同面向之多元分析。

二、機器人可再經由功能類別方式進行補充，並朝向資訊回傳之較迫切需求的方向進行研究，並對此領域功能進行統整。

玖、散會（下午 12 時 00 分）

附錄三 相關文獻發表與研究成果

IFPSS: Intelligence Fire Point Sensing Systems in AIoT EnvironmentsYen-Chiu Chen^a, Kun-Ming Yu^{*.b}, Chung-Hsing Liu^b, Huan-Po Hsu^c, Ming-Yuan Lei^d, Nancy Tsai^d^a Dept. of Information Management, Chung Hua University, Hsinchu, Taiwan;^b Dept. of Computer Science and Information Engineering, Chung Hua University, Hsinchu, Taiwan;^c Ph.D. Program in Engineering Science, Chung Hua University, Hsinchu, Taiwan;^d Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior, New Taipei City, Taiwan**ABSTRACT**

The situation at the scene of the fire is changing rapidly. How to collect and analyze the most immediate fire information, providing the most effective information for disaster decision-making has always been an important issue. This paper proposes an Intelligent Fire Point Sensing System (IFPSS), which proposes fire condition prediction based on artificial intelligence technology as well as large amounts of gas and temperature data in fire scenes collected by IoT devices. The IFPSS collected actual gas and temperature data from the simulation room where the actual fire test was conducted. Taking carbon monoxide (CO) and hydrogen sulfide (H₂S) data as an example, the artificial intelligence analysis of IFPSS uses linear regression algorithm to establish artificial intelligence model. After training and testing the model, an accuracy of up to 84.4% predicts whether the fire process is in the very early stages of a fire.

Keywords: Fire Point Sensing, Internet of Thing, Artificial Intelligence, Linear Regression

1. INTRODUCTION

Rapid changes in fire conditions are difficult to predict. In addition to establishing appropriate fire protection concepts, more importantly, early detection of fire occurrence times is a critical moment to reduce fires when fires occur. After all, everyone is reluctant to see the casualties and property damage caused by the fire. However, exploration and data collection by firefighters at the scene of the fire is a way of causing casualties. Therefore, how to collect information through fire-fighting equipment has become another way to effectively reduce casualties [16, 18]. M. Bahrepour et al. proposed a system combination of the sensors and a detection algorithm [1], where the sensors can be deployed in many places for different requirements. Moreover, based on the FFNN and the Naïve Bayes classifier to assort sensory information, the system can compute complexity and accuracy rate of the detected data. Furthermore, an evacuation system with warning function for the investigation of fire can effectively reduce the damage. Z.C. Zou et al. proposed a system utilized Geo-spatial data, using web-GIS based spatial decision support system [19], to provide reliable fire notice, effective fire suppression, and adaptable evacuation strategies for occupants, which will enhance evacuees' survival possibility in building fires. However, how to analyze the data collected by various fire fields, predict the extent of fire spread and the degree of combustion, and obtain the expected fire detection training model is still a hot topic [3, 4].

This paper proposes an intelligent detection module to provide the very early fire detection technology to assist indoor environmental warning notification and fire source detection. Through the data collection system after the collection, the artificial intelligence calculation engineering simulation is carried out, and the calculation result is more accurate by the big data method. The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 introduces some related works about IoT and artificial intelligence technology. Section 3 provides the details of the implementation for IFPSS system. Section 4 presents experimental results and shows the performance. Finally, we conclude this paper and provide directions of future work in Section 5.

2. RELATED WORKS

The Intelligent Fire Point Sensing System (IFPSS) proposed in the paper combines artificial intelligence technology and IoT technology for early fire detection. This section introduces the relevant technologies applied in this paper.

2.1 Fire detection and Evacuation Guidance System

In order to avoid and reduce damage from fire, early fire detection can help to extinguish fire as early as possible. Therefore, early detection and monitoring of fires is a very important and critical moment. Pasquale Foggia et al. propose

a method to analyze videos acquired by surveillance cameras to detect fire [6]. The detection algorithm proposed by Philip E. Dennison et al. uses high-spectral data to detect fire and fire temperatures by the radiation emitted by the flame in short-wave infrared (SWIR)[5]. However, if a fire has already occurred, an efficient Evacuation Guidance System plays an important role. A portable fire evacuation guide robot system proposed by Young-Duk Kim et al. can collect information about the fire environment and guide the trapped person to evacuate from the fire [10]. By using the simulation of the fire scene on the "Black House" experimental platform, Ran Haichao et al. [14] analyze an Intelligent Evacuation Navigation System and propose some suggestions including the location of the exit location, the location of the Intelligent Acoustic Emissions Discharge Indicator, and the choice of sound and visual guidance. However, the above method is still in the experimental stage.

2.2 Artificial Intelligence (AI)

The 1950s scientists solved the problems of mathematical logic derivation through computers, and Alan Turing proposed the famous Turing test to show that the machine has the potential to be intelligent. Because of being limited by the slower processing on the hardware and network, there was no major breakthrough of AI technology. Until the leap forward of Machine Learning in the 2010s, the wave of artificial intelligence re-emerged. Thanks to the decline in hardware costs and the enhancement of computing power, a large amount of data can be processed through machine learning. Machine learning is basically a way for computers to use existing historical data, to derive a model, and to use these models to predict the future. Through the improvement of information collection and algorithm, and the correction and feedback based on the learning results or prediction accuracy, the wisdom of the machine is continuously improved, and finally the effect of artificial intelligence is achieved. Majid Bahrepour et al. performed accurate residential fire detection by using the best sensor combination criteria and studied the applicability of feedforward neural networks (FFNN) and naive Bayes classifiers in AI technology [1]. Tom Toulouse et al. uses a machine learning-based approach to compare and analyze fire color detection rules and methods based on image processing [15].

2.3 Internet of Things (IoT)

The Internet of Things (IoT) is a cluster network [8] that allows devices in physical space to exchange data or control signals through mutual transmission. The Internet of Things (IoT) network can be distinguished into three levels as the sensing layer, the network layer, and the application layer. When the devices in the sensing layer communicate with different domains or servers, they must communicate with each other through the network layer to facilitate mutual information exchange and transmission, usually by wired or wireless network technology and cloud application technology to assist, and with high-reliability network transmission function, each device can be connected by the sensing layer, and all devices can be transmitted and received through the Internet technology, so that various types of the value-added applications or systems can be controlled or remotely monitored via the Internet [11]. Based on the IoT technology, K.-M. Yu et al. constructed an intelligent evacuation guidance system [17] to provide the optimal evacuation path to the asylum in case of environmental crisis as a reference for safety evacuation at critical times. Huan-Po Hsu et al. proposed a comprehensive intelligent evacuation guidance system [9] which combines evacuation route planning technology and audio-visual evacuation guidance technology to provide the best route to evacuate in a short time.

How to combine artificial technology and the IoT technology to collect fire farm related information and analyze it, and then predict the fire situation is a series of practical issues [1, 2, 3].

3. IFPSS SYSTEM

In order to provide firefighters with more information on fire scenes for disaster relief decisions, this paper proposes an Intelligent Fire Point Sensing System (IFPSS) for fire detection and early environmental detection. The IFPSS proposes fire status predictions through artificial intelligence techniques based on large amount data of gas and temperature in fire scene collected by IoT equipment. The system architecture of the IFPSS shown in Fig. 1 consists of three layers:(1) Sensor layer; (2) Network layer; (3) Application layer, where the fire data is collected by Sensor layer, transferred by Network layer, and analyzed in Application layer to propose a predictive fire information.

In the edge of the IFPSS, that is Sensor layer, data collection of temperature and gas is performed through a plurality of terminal sensors, which are built on Arduino boards. The Arduino board transmits the collected data to the sensing receiver of the microcomputer (Raspberry Pi) via an external Zigbee wireless transmission device [13, 16, 18]. In the network layer, IFPSS system uses Raspberry Pi 3B+ to receive information through Python program and form network transmission medium through 4G external module. In the application layer, the collected data is uploaded to the Internet

of Things platform, IoTtalk, for streaming. The device management according to the IoTtalk classification characteristics, and the collected data is stored in a database to avoid data loss. Finally, an Artificial Intelligence Analysis (AIA) in Application layer provides fire status predictions by importing some collected data. There is more detail implementation information of the IFPSS as follows.

3.1 Sensing Layer

Like a general early warning system [7], the sensor is connected to the Arduino use signal cable to provide power, and then the Zigbee 2.4G Module expansion board (AppsBee RO) on the Arduino is used to set the Baud Rate frequency to transmit the sensing data for indoor temperature and fire common gas. There are three modules in the sensing layer: (1) temperature module, (2) gas module and (3) transmission module. In the temperature module, the temperature converter detects the change process within 300 °C by using the PT100 resistance high temperature probe, and transmits information through Zigbee (RO). In the gas module, since the gas sensor board connected to the analog line is not subject to Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART), the Multichannel Gas Sensor and MQ136 H2S Sensor are combined. The CO and CO2 sensors connected by digital signal lines can operate independently. All sensors are powered by 5V and transmitted by Zigbee (RO). Finally, the transmission module is composed of Arduino UNO R3 and ZigBee 2.4G Module (AppsBee CO) and is connected to Raspberry Pi 3B+. The transmission module sequentially receives the information with the same baud Rate transmitted by AppsBee RO.

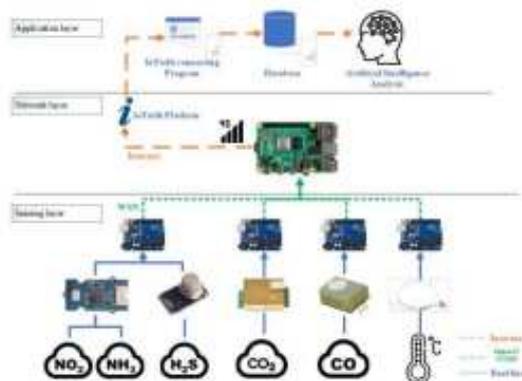


Figure 1. IFPSS system architecture

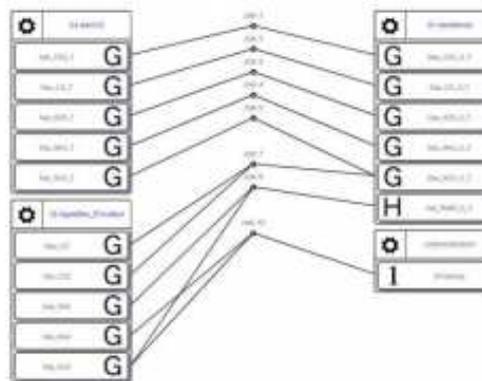


Figure 2. Graphical Layout Window of IoTtalk

3.2 Network Layer

The Raspberry Pi at the network layer receives information from the sensing layer through the AppsBee CO built in Arduino. By using python program to upload the received values through the Raspberry Pi 4G module, all data are transmitted to the IoT platform, IoTtalk, via the mobile network. IoTtalk is a novel platform in the network layer of IoT technology. It is a link control platform proposed by Y.-B. Lin et al.[11] to easily integrate all IoT devices. All devices on IoTtalk can correspond relationship, such as a device capable of temperature detection, and the other side is the motor of the water-cooling device. When the temperature is higher than a certain level, the motor can be adjusted by IoTtalk to set the conversion formula. Hence, the temperature detection and the motor can be more easily integrated with each other. The principle of IoTtalk is to integrate the application interface in the device by the application interface and the integration with the application management system, so that the developable device can connect to the IoTtalk using the Internet connection. Moreover, with the easy-to-understand connection-structure-management-interface of IoTtalk, the relationship between the two devices is connected in series. Therefore, all devices can be easily managed by IoTtalk.

When the terminal device is connected to the IoTtalk platform, the platform will generate corresponding application software to handle the compatibility problem. Users can classify devices according to devices function or features, and develop IoT device feature as special input or output capability. In IoTtalk, the sensing devices with detection functions and the ones with display functions are called input device feature (IDF) and output device feature (ODF), respectively. The IDF can be connected to the ODF via the small circle join object in the Graphical Layout Window shown as Fig. 2. If a link between IDF and ODF has only one input function, then this link is called *single join*. Otherwise, a link containing multiple input functions is called *multiple join*. When the user selects the device, the Graphical Layout Window will appear from the library to retrieve the list of devices registered in the device mode, and distinguish the input and output characteristics, and send or receive the IoT device message via the network.

3.3 Application Layer

In the application layer of IFPSS, Artificial Intelligence Analysis (AIA) is used to provide some predict information for firefighters according to the detected data stored in the database. Since the detected data in the environment during the fire have not been processed, so firefighters not only can't understand the contents of their data, but also can't know the changes in the environment. Therefore, this study uses artificial intelligence to analyze and improve the judgment of the fire point. The Fig. 3 shows a process flow diagram of the Artificial Intelligence Analysis. In order to achieve aforementioned goal, the detected data needs to be input into the artificial intelligence model. After the data-cleaning step, the uncorrelated data is first excluded, and all the data is optimized and sorted. The data is divided into training sets or test sets, and the training model is used for data training and then testing. Using the training set data, the artificial intelligence and neural network-like algorithms are used to build the training model. The training set data is imported into the training model for effectiveness modeling training. After establishing the training model and the test model, the loss function or accuracy of the training model is evaluated through the test set data. If the loss value is too large, error correction and weight adjustment will be performed, and the model will be retrained until the error is optimized and the training is completed. According to real environmental data or instantaneous environmental data, the artificial intelligence model can predict whether the environmental temperature anomaly will cause harm to the environment, and if so, it must conduct a very early hazard notification.

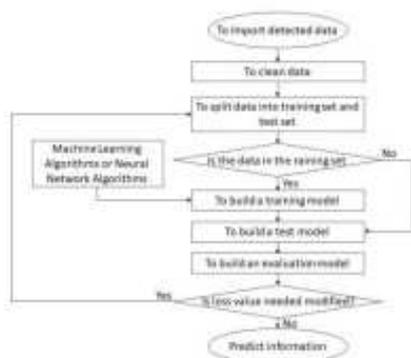


Figure 3. AIA process



Figure 4. Sensor layout of the simulation room

4. EXPERIMENTAL RESULTS

This section shows that the actual application of this IFPSS system is built into the fire test environment to collect data changes in the indoor fire environment, and to use artificial intelligence algorithms to predict and verify the results of fire.

4.1 Experiment Environment

The experiment is to build a room type simulated one of a long-term care institution, and carry out an actual ignition test to observe the fire phenomenon of the indoor fire field and conduct fire analysis. Shown as Fig. 4, the simulation room has a total area of 10-meter x 8-meter and is divided into two areas which are the fire room and the non-fire room, respectively. A medical used bed is placed in the fire room and is ignited by the experimenter on the bed. In this simulation room, IFPSS sets 4 gas sensing points shown as black stars and 4 temperature sensing points shown as white stars, while gas sensing points are responsible for collecting several common gases such as carbon monoxide(CO), carbon dioxide (CO₂), hydrogen sulfide(H₂S), ammonia(NH₃), and nitrogen dioxide (NO₂), etc., and temperature sensors up to 300 degrees Celsius. These sensors use wireless sensing network technology and clustering in the indoor environment, while the Cluster Head Node, abbreviated as CHN, transmits data to IoTtalk for data exchange and processing through the Raspberry Pi and LTE network technology. Through the data collection of gas and temperature, the change of gas and temperature in the fire environment is observed, and then the fire state is analyzed. The equipment in the experiment of IFPSS are carbon monoxide (CO) sensor, carbon dioxide (CO₂) sensor, hydrogen sulfide (H₂S) sensor, nitrogen dioxide (NO₂) sensor, Temperature sensor, Arduino UNO R3 with ZigBee Module, and CHN, which the number of each kind of the equipment is 4,4,4,4,16,1, respectively. It is worth mentioning that CHN includes one Arduino UNO R3 with ZigBee Module and one Raspberry Pi with 4G LTE Module in order to avoid problems such as data transmission in the experimental environment without setting up a wired or wireless network.

Referring to Fig. 4, the gas sensor at the upper left can detect the smoke flow when the smoke exhaust window of the environment is opened, and the gas flow condition can be easily observed when the door is opened at the lowest door. Because the main purpose of this experiment is to observe the fire in the fire room, so only the temperature sensor is installed in the non-fire room for sensing, and the rest will be set in the fire room for temperature sensing. In order to avoid high temperature or wall blocking signals, the CHN is set on the outer wall of the environment side. From the experimental site of observing the actual fire, it takes only 5 minutes for the fire to grow to a dense smoke, and it can be densely covered in the entire space. If the data obtained in this experiment can be analyzed, the early identification of the fire can not only improve the safety of the indoor environment, but also reduce the difficulty caused by the unclear environmental conditions in the fire disaster relief.

4.2 AIA process

The purpose of the IFPSS fire test is to predict whether there is a fire in the space under the gas concentration by the gas concentration information. In other words, the concentration of gas collected by the IFPSS platform should be trained before predicting whether there is a fire in the space. The sensor device in the IFPSS collects concentration data of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), hydrogen sulfide (H₂S), ammonia (NH₃) and nitrogen dioxide (NO₂) as well as temperature data. However, in order to quickly verify this purpose, the most important gas concentration information at the fire site, carbon monoxide (CO) and hydrogen sulfide (H₂S), was imported into the Microsoft Machine Learning Studio platform to construct the AI model of AIA process in IFPSS. The Microsoft Machine Learning Studio platform is a tool for quickly building models from ready-to-use algorithms and module libraries.

The application of the IFPSS platform to early fire prediction can be divided into two phases (1) training experiments (2) prediction experiments. In the process of the training experiment shown in Fig. 5, a total of 20,249 gas concentration data were imported, where the gas concentration data of H₂S and CO were 3,569 and 16,680, respectively. In the data set, "Sensor ID", "Device ID", "Gas Type", "Concentration Value", "Collection Time", and "Burn" are used as features in the training model, where the value of "Burn" is 0 or 1 to represent there is no a fire in the space or there is a fire in the space, respectively. After cleaning data step of excluding the outliers and the re-confirmation of the feature value field, the data set is divided into a training set and a test set, wherein the training set and the test set respectively account for 75% and 25%. By building a training model using linear regression and training set, the training model and the test set are used to build a score model and an evaluate model to confirm the accuracy of the training experiment. As with the AIA process described in Fig. 3, after adjusting the parameters in the training model, the appropriate training model is combined with the predictive experiment shown in Fig. 6.

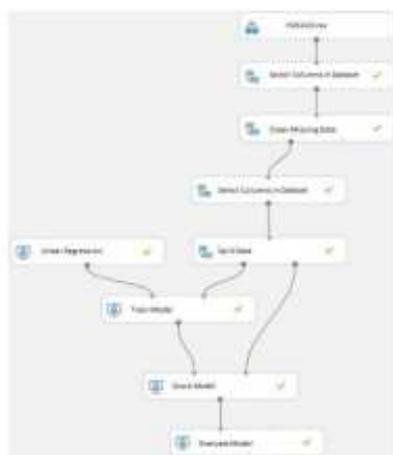


Figure 5. Training Experiment

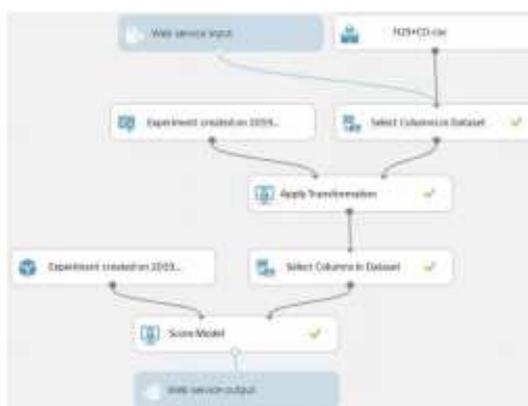


Figure 6. Predictive Experiment

In the process of the predictive experiment, a total of 11,168 new gas concentration data by the "web service input" were imported into Machine Learning Platform, where the gas concentration data of H₂S and CO were 2,746 and 8,422, respectively. Moreover, the feature fields of the new gas concentration data are the same with the training data. After the process of predictive experiment, the number of correct predictions and false predictions was 9,430 and 1,738, respectively. In other words, the prediction accuracy was 84.4%.Conclusions and Future Works

5. CONCLUSION AND FUTURE WORKS

This paper presents an Intelligent Fire Point Sensing System (IFPSS) and the experimental framework. In the paper, a simulation room based on the actual long-term care facility room is established and conduct real fire experiments. By deploying common gas and temperature sensors in a fire, IFPSS collects actual gas and temperature data from the fire field. Taking carbon monoxide (CO) and hydrogen sulfide (H₂S) data as an example, the mixed data are imported into the Microsoft Machine Learning platform, where a linear regression algorithm is used to build an artificial intelligence model. After training and testing the model, an accuracy of up to 84.4% predicts whether the fire process is at a very early stage of the fire occurrence. The next step in this study will be to increase a variety of sensors on the IFPSS to collect more diverse gas and temperature data. Further, thermal imaging cameras are used to collect fire images [3]. Through a large and diverse range of gas, temperature and image data, deep learning algorithms are used to build AI prediction models to more accurately predict the evolution of fire. Through the prediction of the fire process, IFPSS will provide firefighters with more accurate disaster relief information to reduce disasters and casualties.

ACKNOWLEDGMENT

This paper was supported by Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior (research no. 108301070000G0027).

REFERENCES

- [1] M. Bahrepour, N. Meratnia and P. J. M. Havinga, "Use of AI Techniques for Residential Fire Detection in Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the 5TH IFIP Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations*, Thessaloniki, 311-321 (2009).
- [2] M. Bahrepour, N. Meratnia, and Paul J.M. Havinga, "Fast and Accurate Residential Fire Detection Using Wireless Sensor Networks," *Environmental engineering and management journal* 9(2), 215-221, 2010.
- [3] T. Celik, "Fast and Efficient Method for Fire Detection Using Image Processing," *ETRI Journal* 32(6), 881-890 (2010).
- [4] N.-E. Chung, K.-M. Yu, H.-P. Hsu, S.-T. Cheng, C.-C. Lien, M.-Y. Lei and N. Tsai, "An Effectiveness Study of an Intelligent Emergency Evacuation System Using Field Verification Techniques," in *2017 Sixth International Conference on Future Generation Communication Technologies (FGCT)*, Dublin, Ireland, 78-83 (2017).
- [5] P. E. Dennison, D. A. Roberts and L. Kammer, "Wildfire detection for retrieving fire temperature from hyperspectral data," in *ASPRS 2008 Annual Conference*, Portland, Oregon, 1-8 (2008).
- [6] P. Foggia, A. Saggese and M. Vento, "Real-Time Fire Detection for Video-Surveillance Applications Using a Combination of Experts Based on Color, Shape, and Motion" in *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 25(9), 1545-1556 (2015).
- [7] O. Giandi and R. Sarno, "Prototype of fire symptom detection system," in *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOLACT)*, Yogyakarta, Indonesia, 489-494 (2018).
- [8] P. Gouthaman and S. Sankaranarayanan, "Agile Software Risk Management Architecture for IoT-Fog based systems," in *2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, Tirunelveli, India, 48-51 (2018).
- [9] H.-P. Hsu, K.-M. Yu, C.-C. Lien, S.-T. Cheng, Ching-Lin Lee, M.-Y. Lei and N. Tsai, "An Intelligent Emergency Evacuation System Based on Multiple Guidance Technology," in *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Ubi-Media Computing (U-Media 2016)*, Moscow, Russia, 397-402 (2016).
- [10] Y.-D. Kim, Y.-G. Kim, S.-H. Lee, J.-H. Kang and J. An, "Portable fire evacuation guide robot system," in *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, St. Louis, MO, USA, 2789-2794 (2009).
- [11] Y.-B. Lin, Y.-W. Lin, C.-M. Huang, C.-Y. Chih and P. Lin, "IoTtalk: A Management Platform for Reconfigurable Sensor Devices," in *IEEE Internet of Things Journal* 4(5), 1552-1562 (2017).
- [12] C. Mouradian, N. T. Jahromi and R. H.Gliotho, "NFV and SDN-Based Distributed IoT Gateway for Large-Scale Disaster Management," *IEEE Internet of Things Journal* 5(5), 4119-4131 (2018).
- [13] T. Rahman, X. Yao and G. Tao, "Consistent Data Collection and Assortment in the Progression of Continuous Objects in IoT," *IEEE Access*, 51875-51885 (2018).
- [14] H. Ran, L. Sun and X. Gao, "Influences of intelligent evacuation guidance system on crowd evacuation in building fire," *Automation in Construction* 41(14), 78-82 (2014).
- [15] T. Toulouse, L. Rossi, T. Celik and M. Akhloufi, "Automatic fire pixel detection using image processing: A comparative analysis of Rule-based and Machine Learning-based methods," *Signal, Image and Video Processing* 10(4), 647-654 (2016).
- [16] Y. Hongyan, G. Shuqin, H. Ligang, W. Jinhui, P. Xiaohong and W. Wuchen, "Research of Fire Detecting System Based on ZigBee Wireless Network," in *2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering*, Xi'an, China, 251-253 (2012).
- [17] K.-M. Yu, H.-P. Hsu, N.-E. Chung, C.-C. Lien, S.-T. Cheng, M.-Y. Lei and N. Tsai, "Construct an Intelligent Evacuation Guidance System with Open System Architecture," in *2018 International Conference on Advanced Control, Automation and Artificial Intelligence (ACAAI 2018)*, Shenzhen, China, 214-217 (2018).
- [18] K.-M. Yu, J.-Y. Liou, B.-H. Yeh, C. W. Yu, C.-C. Tien, C.-H. Wang and P.-Y. Wang, "CALE: A Context-Aware Living Environment Based on Zigbee Sensor Network," in *2010 Sixth International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, Hangzhou, China, 243-246 (2010).
- [19] Z.C. Zou, H.Leng, K.L. Wu and W.Q. Su, "Intelligent Space for Building Fire Detection and Evacuation Decision Support," in *International Conference of Electrical, Automation and Mechanical Engineering*, Phuket, Thailand, 365-368 (2015).

參考書目

英文文獻

- [1] Biswas, A. R., & Giaffreda, R. (2014). IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges. 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT) (pp. 375 - 376). Seoul, South Korea: IEEE.
- [2] Chung, N.-E., Yu, K.-M., Hsu, H.-P., Cheng, S.-T., Lien, C.-C., Lei, M.-Y., & Tsai, N. (2017). An effectiveness study of an intelligent emergency evacuation system using field verification techniques. 2017 Sixth International Conference on Future Generation Communication Technologies (FGCT) (pp. 1 - 6). Dublin, Ireland: IEEE.
- [3] Collotta, M., Pau, G., Talty, T., & Tonguz, O. K. (2018). Bluetooth 5: A Concrete Step Forward toward the IoT. IEEE Communications Magazine (pp. 125 - 131). IEEE Communications Society: IEEE Journals & Magazines.
- [4] Czurak, P., Maj, C., Szermer, M., & Zabierowski, W. (2018). Impact of Bluetooth low energy on energy consumption in Android OS. 2018 XIV-th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (pp. 255 - 258). Lviv, Ukraine: IEEE.
- [5] G. Mao, B. F. (2007, 7). Wireless Sensor Network Localization Techniques,. ACM Computer Networks, vol.51, pp. 2529-2553.
- [6] Hada, H., & Mitsugi, J. (2011). EPC based internet of things architecture. 2011 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (pp. 527 - 532). Sitges, Spain: IEEE.
- [7] Hsu, H. P., Yu, K. M., Chine, S. T., Cheng, S. T., Lei, M. Y., & Tsai, N. (2014). Emergency Evacuation Base on Intelligent Digital Signage Systems. 2014 7th International Conference on Ubi-Media Computing and Workshops (pp. 243 - 247). Ulaanbaatar, Mongolia: IEEE.
- [8] Jing, Y., & Jian-hui, L. (2009). Research of Eight-Legged Robot Gait Base on Bionics. 2009 Asia-Pacific Conference on Information Processing (pp. 197 - 199). Shenzhen, China: IEEE.
- [9] Lin, Y.-B., Lin, Y.-W., Huang, C.-M., Chih, C.-Y., & Lin, P. (2017). IoTalk: A Management Platform for Reconfigurable Sensor Devices. IEEE Internet of Things Journal (pp. 1552 - 1562). IEEE.
- [10] N.Patwari, A. M. (2003, 8). Relative location estimation in wireless sensor networks. IEEE Transactions on Signal Processing, pp. 2137 - 2148.
- [11] Pathare, S. J., Bhombra, G. K., Kamble, K. D., & Nagare, G. D. (2018). Early Identification of Fire by Utilization of Camera. 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP) (pp. 0001 - 0004). Chennai, India: IEEE.
- [12] Pei, L., Liu, J., Guinness, R., Chen, Y., Kröger, T., Chen, R., & Chen, L. (2012). The evaluation of WiFi positioning in a Bluetooth and WiFi coexistence environment. 2012 Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS) (pp. 1 -

- 6). Helsinki, Finland: IEEE.
- [13] Saputra, F. A., Rasyid, M. U., & Abiantoro, B. A. (2017). Prototype of early fire detection system for home monitoring based on Wireless Sensor Network. 2017 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA) (pp. 39 - 44). Surabaya, Indonesia: IEEE.
- [14] SeungSub, O., Jehun, H., Hyunjung, J., Soyeon, L., & Jinho, S. (2017). A study on the disaster response scenarios using robot technology. 2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI) (pp. 520 - 523). Jeju, South Korea: IEEE.
- [15] Shang, Y., Cheng, Z., & Xin, Y. (2017). Fire extinguishing model by robots of artificial intelligence based on ABM. 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC) (pp. 6458 - 6461). Chongqing, China: IEEE.
- [16] Shen, X., Yang, S., He, J., & Huang, Z. (2016). Improved localization algorithm based on RSSI in low power Bluetooth network. 2016 2nd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things (CCIOT) (pp. 134 - 137). Dalian, China: IEEE.
- [17] Wang, H., Li, D., Wang, Y., & Yang, W. (2010). Fire Detecting Technology of Information Fusion Using Support Vector Machines. 2010 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (pp. 194 - 198). Sanya, China: IEEE.
- [18] Wu, C.-C., Yu, K.-M., Chine, S.-T., Cheng, S.-T., Huang, Y.-S., Lei, M.-Y., & Lin, J.-H. (2013). An intelligent active alert application on handheld devices for emergency evacuation guidance. 2013 Fifth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (pp. 7 - 11). Da Nang, Vietnam: IEEE.
- [19] Yaakop, M. B., Malik, I. A., Suboh, Z. b., Ramli, A. F., & Abu, M. A. (2017). Bluetooth 5.0 throughput comparison for internet of thing usability a survey. 2017 International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship (ICE2T) (pp. 1 - 6). Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE.
- [20] Yu, K.-M., Yu, C.-S., Lien, C.-C., Cheng, S.-T., Lei, M.-Y., Hsu, H.-P., & Tsai, N. (2015). Intelligent evacuation system integrated with image recognition technology. 2015 8th International Conference on Ubi-Media Computing (UMEDIA) (pp. 23 - 28). Colombo, Sri Lanka: IEEE.
- [21] Zhao, Y., Man, K. L., Liang, H.-N., Wang, W., Yue, Y., & Jeong, T. (2015). Design of intelligent algorithms for multi-mobile robot systems. 2015 International SoC Design Conference (ISOCC) (pp. 177 - 178). Gyungju, South Korea: IEEE.

中文文獻

- [22] 三津村直貴.(2018). 圖解 AI 人工智慧大未來:關於人工智慧一定要懂得 96 件事. 旗標
- [23] 王可喬、楊智旭(2012)。智慧型滅火機器人之模糊控制器設計。新北市：淡江大學機械與機電工程學系碩士班。
- [24] 何世偉、賴致平(2007)。藍芽技術傳輸應用。新竹縣：大華技術學院機電研究所。
- [25] 周碩彥(2015)。物聯網發展趨勢展示內容。台北：國立科學工藝博物館。
- [26] 林大貴(2017)。TensorFlow+Keras 深度學習人工智慧實務應用。台灣：博碩。
- [27] 徐銘淵、王讚彬(2018)。Dynamic Reporting Mechanism for Scientific Experiments with Internet of Things Devices Using IoTtalk Platform. 臺中：國立臺中教育大學。
- [28] 曹永忠(2016)。物聯網的現況與未來。台中：靜宜大學。
- [29] 游坤明、鄭紹材、周嘉奕、黃元劭(2012)。結合行動通訊之智慧型主動預警及避難導引系統研究。新北市,台灣：內政部建築研究所。
- [30] 游坤明、吳崇碩(2013)。一個具人群分流能力之個人化逃生導引演算法暨系統之建置. 新竹，台灣：中華大學。
- [31] 游坤明、鄭紹材、徐煥博、楊程鈞、連振昌(2016)。智慧型避難引導結合煙霧中人員辨識系統開發及綜合驗證研究。新北市：內政部建築研究所。