

摘要

本研究結合擴增實境(Augmented Reality)、工業物聯網與手勢辨識技術，開發半導體設備人為疏失預防系統。以Hololens 2作為開發平台，整合其內建之手勢追蹤功能，改善現有的半導體機台巡檢作業，降低人為疏失的發生。以TCP/IP 通訊方式將機台即時資訊傳入伺服器中，並透過現有之故障預測與健康管理(PHM) 模型，進行自動設備健康狀況評估，再將結果整合至穿戴裝置Hololens 2中，以提升評估設備健康狀況的精準度，達到增加機台的剩餘使用壽命，同時提升巡檢效率的目標。當機台需要進行維修或停機保養時，則引入人為疏失預防系統，以虛擬圖像於穿戴裝置上，實現即時指示步驟與錯誤預警技術，降低現場人員操作失誤的可能性。

目錄

| | |
|------------------------------------------------------------|----|
| 摘要 | 2 |
| 目錄 | 3 |
| 一、緒論 | 5 |
| 1.1 研究動機 | 5 |
| 1.2 問題定義 | 5 |
| 二、文獻回顧 | 6 |
| 2.1 半導體廠房氣體外洩引發之危害與損失回顧 | 6 |
| 2.2 穿戴式裝置 | 7 |
| 2.3 故障預測與健康管理 Prognostic and Health Management (PHM) | 9 |
| 2.3.2 系統組成與架構 | 9 |
| 2.3.3 PHM 模型種類 | 10 |
| 三、研究方法與流程簡介 | 11 |
| 3.1 數據採集方式 | 11 |
| 3.2 故障預測與健康管理 PHM 模型分析 | 12 |
| 3.3 人為操作疏失預防系統開發 | 15 |
| 3.3.1 擴增實境之機台介面 | 15 |
| 3.3.2 人類行為預測方式 | 16 |
| 四、結果呈現 | 17 |
| 4.1 流程結構圖 | 17 |
| 4.2 系統使用流程 | 17 |
| 五、未來研究方向 | 21 |
| 5.1 結合影像辨識技術於巡檢機台辨識： | 21 |
| 5.2 優化平面、空間定位技術： | 21 |
| 5.3 優化語音辨識系統： | 21 |
| 5.4 加入眼動儀功能 | 21 |
| 5.5 存取智慧眼鏡之空間座標 | 21 |
| 5.6 加入物件拆解步驟判斷功能 | 21 |

| | | |
|-----|-------------------|----|
| 5.7 | 整合5G傳輸與工業物聯網..... | 22 |
| 5.8 | 擴大AR智慧巡檢應用..... | 22 |
| 六、 | 結論 | 23 |
| 七、 | 參考資料 | 24 |

一、緒論

1.1 研究動機

半導體產業為電子產業鏈非常重要的一部分，今日全球的消費性電子產品需要仰賴台灣所設計或製造之積體電路元件，積體電路是將眾多如二極體、電晶體等電子元件製作在微小的半導體基板上，製造程序包括了還原、氧化、擴散、蝕刻等，大都需要通導各式氣體成分。同時製程也會產生大量廢氣或有毒氣體，必須由操作人員手動進行廢氣處理器的氣瓶交換。加上各類製程的更換程序不同，儘管已實施標準作業流程與防呆措施，每年仍有人為疏失發生的案例，導致在製品接觸接觸不正確的氣體，在製的晶圓必須作廢與停機處置，將會使半導體廠損失巨大。此外，不當的操作順序更可能產生有毒氣體外洩，使操作員處於高度危險中。

在氣體置換程序中，參數設定錯誤是常見的操作疏失，在半導體操作員長時間進行重複性的作業而產生疲勞的情況下往往對於動作產生懈怠所導致，常見的預防策略是在緊急按鈕上加裝防護蓋或是改成內嵌式的緊急按鈕。此種方法雖能降低誤觸緊急按鈕的發生，卻產生是否能確實緊急停機的隱憂，被機械安全之緊急停止設計原則[1]，列為不被建議的預防方法。另外一種較為複雜的氣體置換錯誤，來自於閥門按鈕操作順序錯誤，由於工作場域的限制，操作人員必須巡檢上百台設備，進行參數檢測與氣體閥門開關操作，在工時過長或精神狀態不佳的情形下，人為疏失成為很難避免的錯誤。

1.2 問題定義

目前在利用擴增實境作為互動介面，降低設備誤觸或程序操作錯誤的研究，目前尚在起步階段，有很大的發展空間。本研究將結合眼球追蹤與手部追蹤，即時發現誤觸行為並提出警告，達到降低人為疏失的效果。不僅降低緊急按鈕的誤觸，進一步也能在有序列的按鈕操作下進行提醒，並防止操作程序錯誤。希望透過擴增實境與手部追蹤的方法，開發手勢辨別功能，預估操作人員當下要進行之動作，當操作程序可能錯誤時，能即時監控並發出警示，降低人為疏失發生的可能，提供半導體設備有效且即時的防呆監控系統。

此外，本專題也計畫將現有的故障預測與健康管理系統（PHM）整合進穿戴裝置中，將機台內各感測器的即時資訊透過物聯網方式傳送至裝置上，並於裝置上即時做健康指標評估，若機台達到需維修或作氣瓶更換的程度，便會指示操作員，並在操作過程中引入疏失預防系統。

本研究欲發展的擴增實境應用程式，最終目的是能即時判斷機台設備當下的健康指標，並在操作員維修或更換氣瓶時引入辨識系統，預測是否操作不當或有其意圖，並在失誤發生前發出警示，使人為疏失的可能性降至最低，進而提升製程的穩定性與安全性。預期將完成的工作項目包括：

1. 將現有故障預測與健康管理系統部署於穿戴裝置；
2. 將操作步驟透過頭戴性裝置視覺化呈現，並能判斷操作員完成之操作進度；
3. 建立即時預警功能，在操作錯誤發生前發出警告，提醒操作人員停止動作；
4. 於 Hololens 2 整合上述各項功能，展示半導體設備巡檢輔助與操作程序人為操作疏失預防技術。

二、文獻回顧

2.1 半導體廠房氣體外洩引發之危害與損失回顧

半導體產業因為製程需求，需要使用大量化學物質，而大部分使用的化學氣體皆具可燃性，若是外洩則會對環境與人體造成嚴重的危害。以近年國內高科技產業發生嚴重意外事故為例，1997 年 10 月 3 日聯瑞積體電路公司晶圓廠，由於風管中的含矽甲烷易燃氣體外洩，造成嚴重火災而使廠房全毀；2005 年 11 月 23 日茂迪科技南科廠氣體室，同樣因為矽甲烷氣體外洩引發爆炸，造

成多名人員傷亡，估計損失 3 億元新台幣以上。

交通大學所做之研究指出：該半導體廠風險控制部門於 2003 至 2006 之異常事故進行紀錄，統計異常事故分布的情形，其中以氣體偵測器之異常為最大宗，人為造成的異常事件占了 23% [2]。

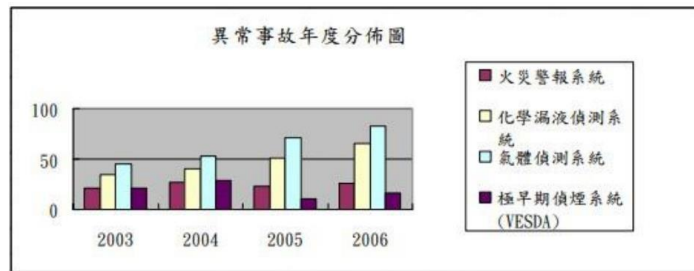


圖 1 安全監控系統異常事故年度分布圖 2003-2006 年 [2]

| Gas Supply System | 氣瓶櫃 | 緊急除害裝置 | 分歧閥箱 | 調節箱 | P.O.U | 區域除害裝置 | 中央除害裝置 | 總計 |
|-------------------|-----|--------|------|-----|-------|--------|--------|------|
| 人為造成 | 5 | 1 | 2 | 7 | 26 | 38 | 2 | 81 |
| Exhaust Piping造成 | 1 | 0 | 0 | 2 | 11 | 22 | 6 | 42 |
| 偵測器異常/干擾 | 15 | 4 | 17 | 21 | 42 | 43 | 4 | 146 |
| 閥件故障 | 2 | 1 | 2 | 1 | 10 | 26 | 1 | 43 |
| 其他 | 4 | 1 | 3 | 3 | 13 | 13 | 3 | 40 |
| 總計 | 27 | 7 | 24 | 34 | 102 | 142 | 16 | 352 |
| 百分比 | 8% | 2% | 7% | 10% | 29% | 40% | 5% | 100% |

圖 2 氣體偵測系統異常事故來源分布表[2]

設備操作上的人為疏失，可能導致氣體外洩造成嚴重工安問題，根據合作廠商指出，目前半導體廠常用的防呆機制為「動作複誦」，在操作員人進行每個步驟前，必須遵照標示之操作步驟，口頭複誦一次，確認後方可進行動作。然而由於不同的工序眾多，人員在進行氣瓶置換程序時，仍然可能發生誤觸緊急按鈕，或是口頭與動作的不一致，整合人工智慧，以外部、自動的方式進行程序確認，防止人為疏失的發生，已經是各主要半導體廠在構思的解答方案。

2.2 穿戴式裝置

擴增實境應用可在許多不同的裝置上部署，其中智慧型眼鏡已商品化，亦支援眾多軟體開發工具。微軟在今年推出 Hololens 2 混合實境頭戴顯示器，本身具有彩色影像與深度感測功能，提供豐富的環境感知能力，使物件的位置辨識更為精確。此外，該裝置內建眼動儀、支援眼球追蹤技術，可判斷使用者所注視的方向，進而去預測使用者接下來的動作，使預警系統更加完善。



圖 3 Hololens 2 裝置圖

Hololens 2 具有豐富的開發資源與函式庫，同時內建手勢追蹤模型，與各開源函式庫相容度也較高，其獨有的深度資訊更能為本系統在物件定位上提升準確度，與本研究期望之功能十分符合，因此選擇 Hololens 2 作為使用裝置。

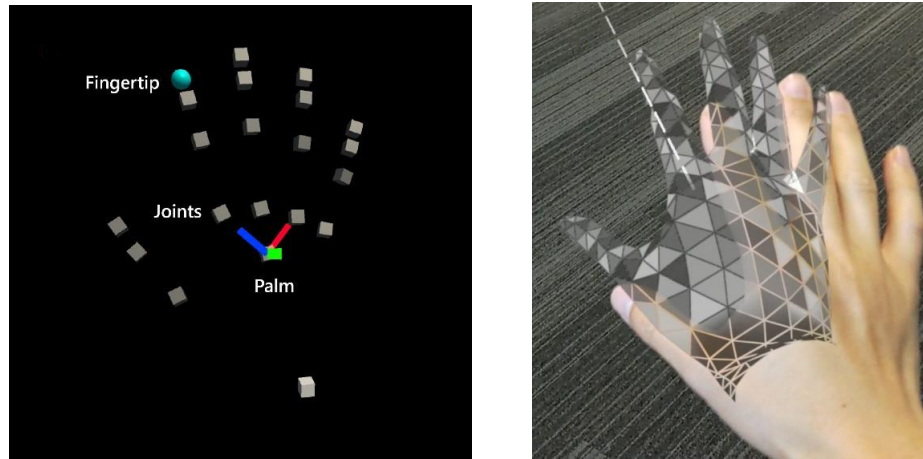


圖 4 手部追蹤示意圖(左圖為關節節點、右圖為擴增實境捕捉到的網狀模型)

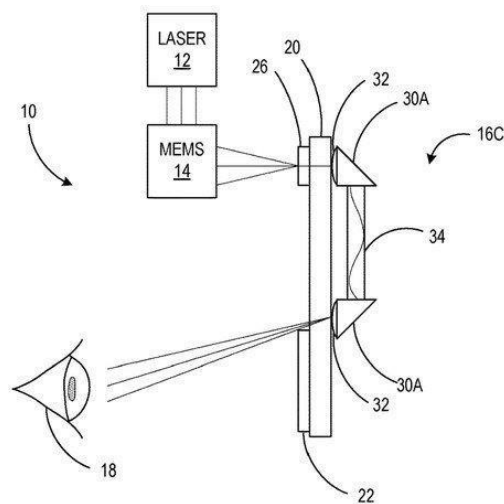


圖 5 眼動儀裝置示意圖

2.3 故障預測與健康管理 Prognostic and Health Management (PHM)

2.3.1 系統目的

故障預測與健康管理的目標為達到設備的自主保障、自主診斷。主要是在機台內架設傳感器，藉助各種演算法和智能模型來預測、監控和管理設備的健康狀態。該系統強調設備的即時狀態感知，監控設備健康狀況、故障頻發區域與周期，通過數據監控與分析，預測故障的發生，從而大幅度提高運維效率。

透過工業物聯網、人工智慧技術，PHM 也預測設備將要發生故障的時間和位置，並預測整體系統的 RUL (Remaining Useful Life, 剩餘使用壽命)，提高系統的運行可靠性，減少系統的維修費用和提高維修準確性。同時，PHM 系統也記錄電子系統的健康數據，對系統狀態進行診斷，以進行健康管理。

2.3.2 系統組成與架構

PHM 系統主要由六個部分構成[3]，分別為數據採集、信息歸納處理、狀態監測、健康評估、故障預測決策、保障決策。以下表詳述之。



圖表 1 PHM 系統的六個組成[4]

2.3.3 PHM 模型種類

1、基於模型的故障診斷與預測

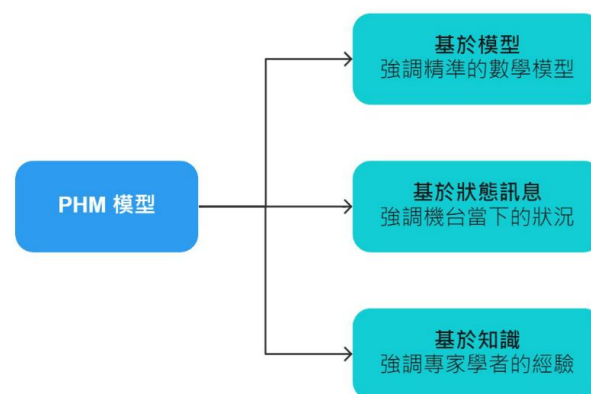
該方法會先透過系統的模擬模型來做測試和驗證，以最少的耗費來獲取直觀有效的數據信息。而該模型通常由該領域的專家所提供，透過大量的數據進行驗證，相較其他方法具有較高的可靠度。基於模型的故障診斷與預測技術能針對目標系統進行的故障預測，並且目標系統的故障特徵通常與模型參數近似或是有高度相關。對目標設備故障的原因與機制越了解，模型也可逐漸修正來提高其預測的準確率。

2、基於狀態信息的故障診斷與預測

此方法是基於傳統的視情維修(condition based maintenance , CBM)而改善，依照目標機台的當下的功能及性能資訊進行故障診斷。除了對設備的工作狀態和工作環境進行即時監測之外，也透過人工智慧演算法，去診斷、預測與安排設備未來的維修調度時間。CBM 的核心為只有在設備需要維修時，才進行必要的維護，以減少不必要的停機與浪費。

3、基於知識的故障診斷與預測

在實際工業應用上，常常無法獲得目標系統的精確數學模型，因此限制了基於模型的故障診斷與預測方法的實施。而基於知識的故障診斷與預測不需要對目標系統精確的數學模型，其核心為透過相關的領域專家的經驗知識，進行定性的推理。但是由於基於知識的故障診斷與預測技術不太適合做定量計算，因而其實際應用還比較困難，單獨使用專家系統或模糊邏輯進行故障診斷與預測的實例還不多見。



圖表 2 PHM 模型的分類

三、研究方法與流程簡介

3.1 數據採集方式

本計畫的目標裝置為DAS Environmental Expert的廢氣處理器。該機台廣泛用於各大半導體廠房中，且在多數製程中皆會使用上。目前為該機台的做健康評估，在其內部安裝了許多感測器，主要量測流道各區段的壓力、爆炸區的壓力、洗滌器運作時的溫度、酸鹼值、汽缸的溫度等。這些資訊會透過機台上安裝的電腦面板，將所有資訊彙整於其中，並透過MODBUS 通訊協定，以超快速乙太網路進行資料傳輸，支援製造商的感測設備之間的通信。並將每個機台的主控器經由 RS-232 串列介面匯入網路儲存伺服器(NAS)中，將各機台的感測器所有數據儲存於其中，並建立與廠房監測中心的連線，形成伺服器（監測中心）與客戶端（NAS）

本研究計畫引入工業物聯網技術，在機台端加裝 WI-FI 收發器，將數據自動彙整於伺服端，透過物聯網方式直接分析完之資料送至穿戴裝置處理上。此改動目的在於減少通訊所需的設備線路，並使現場人員能在行動裝置上直接檢視機台內部之數據，不再需要開啟主控面板或檢閱儲存資料。此外因為少了伺服器與機台的資料溝通，改成直接進行裝置對裝置的傳輸，減少資料外洩的可能，對於數據價值極高的半導體產業來說，不僅低了資訊安全上的風險，也加速了現場人員巡檢的速度。此為廠商委託本研究的重要目標之一。

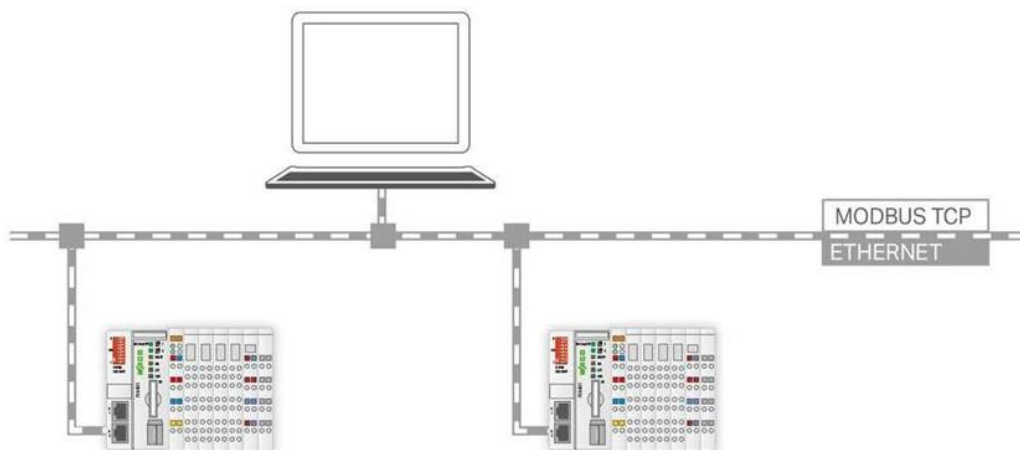


圖 6 MODBUS TCP/IP 通信系統介面示意圖[6]

3.2 故障預測與健康管理 PHM 模型分析

廢器處理器中的感測器會取得多種數據，包含流量、壓力、溫度、酸鹼值等等，在進行數據處理之前，會先詢問專業人員的意見，挑選出對機台健康指標最顯著影響的幾個參數。以本計畫為例，我們以穿晶片孔(TCV)製程中使用的廢棄處理器為目標，篩選出六種感測器所量測得到之數據。並整理出該設備這六種感測器從全新完好到自然損壞的完整週期資料。

並透過該筆數據建立設備健康指標(Equipment Healthy Index , EHI)，首先經由主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)進行降維，希望使資料的維度數減少，只留下一個主成分表示，並將該主成分轉換為 0 到 1 的新尺標。

以下圖敘述主成分分析之過程：

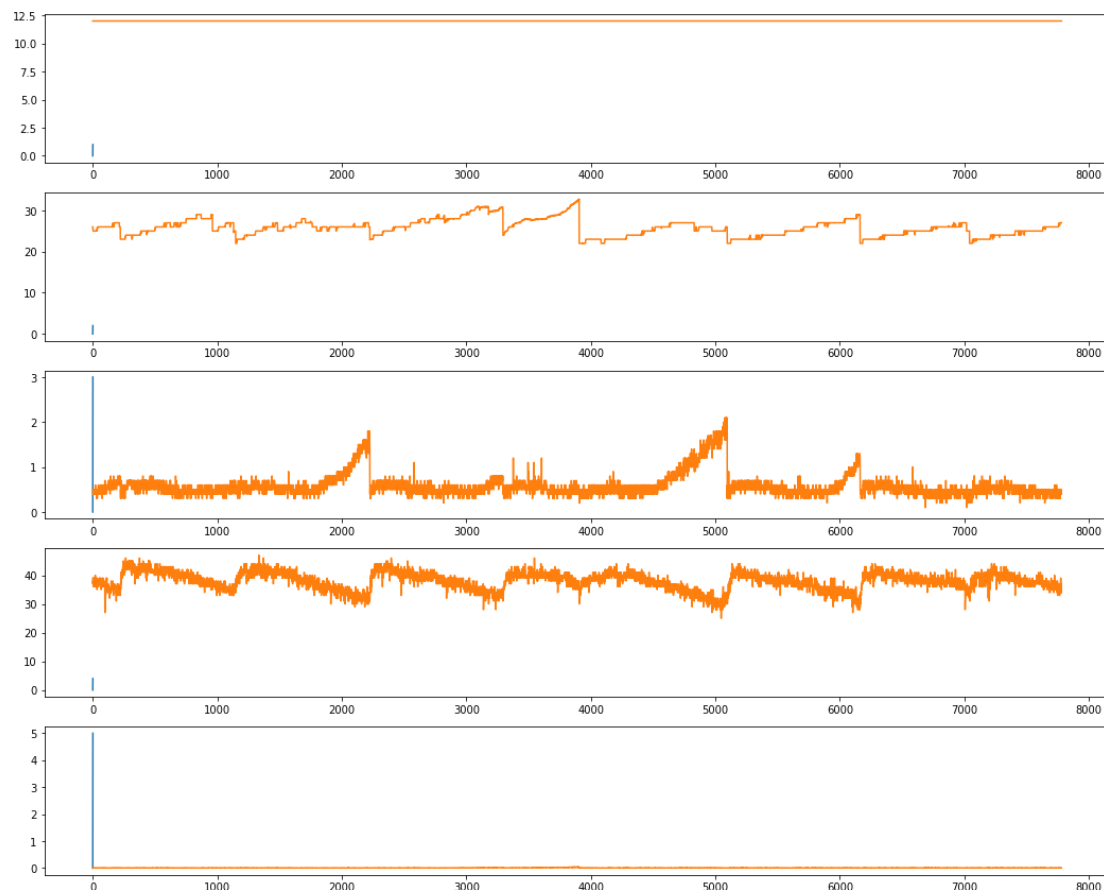


圖 7 挑選之六組感測器量測得到之數據，x 軸：值、y 軸：隨時間增加之編號

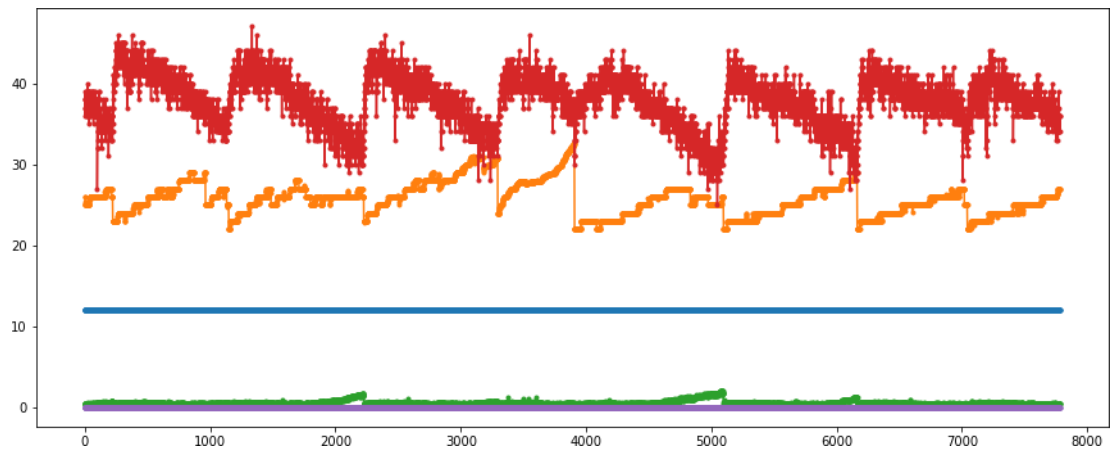


圖 8 將六比數據會至於同一個圖表之中

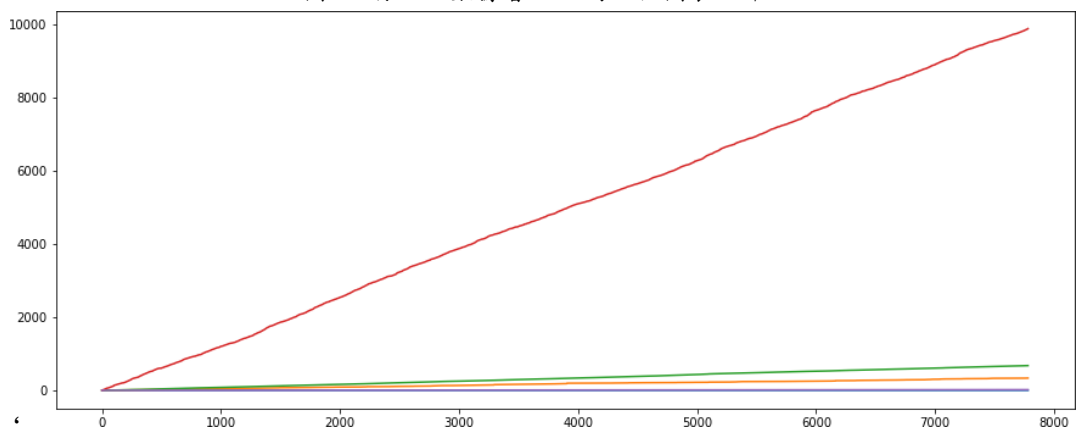


圖 9 將上述資料繪製成累積和之圖形

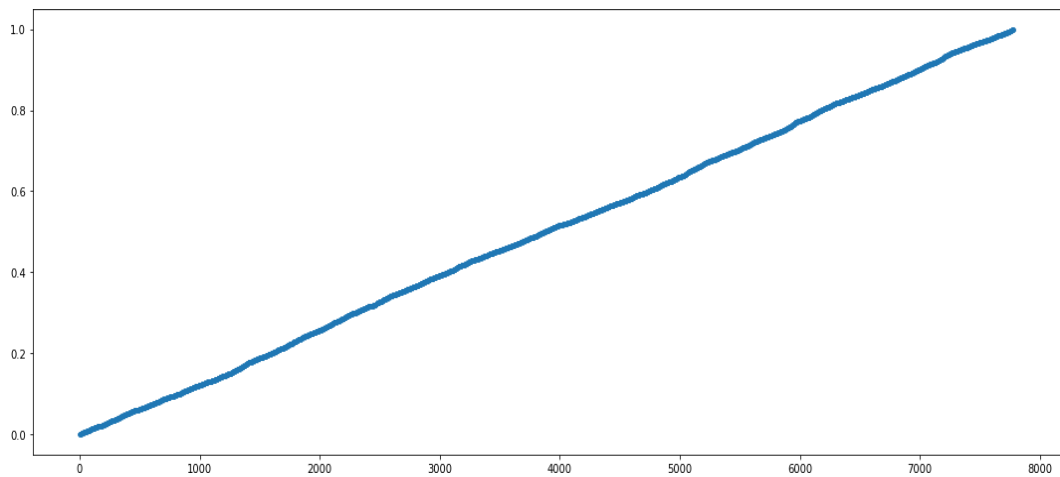


圖 10 資料經過 PCA 後，得到單一主成分，並將 x 軸之數值轉換為 0 到 1

資料經過 PCA 處理後，得到機台的關係。然後將該數據透過標準化轉換成一個 0 到 1 的無因次指標。再經過支援向量回歸(SVR，Support Vector Regression)演算法和 MLP 迴歸分析，透過機械學習方法找出使原始參數能吻合指標的特徵值，以建立用以預測設備健康指標(Equipment Health Index, EHI)之模型，並將原資料帶入該預測模型，檢測其與原始圖形的差異後，發現其相當吻合，因此認定該模型訓練成功，再用即時資料去預測機台當下之 EHI。

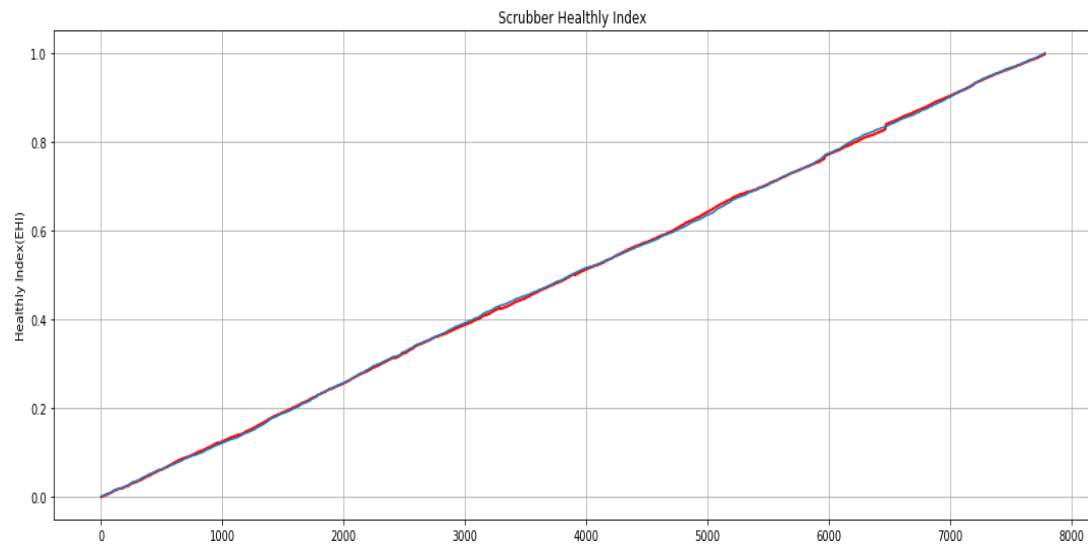


圖 11 訓練模型預測(紅線)與原始資料(藍線)的比較

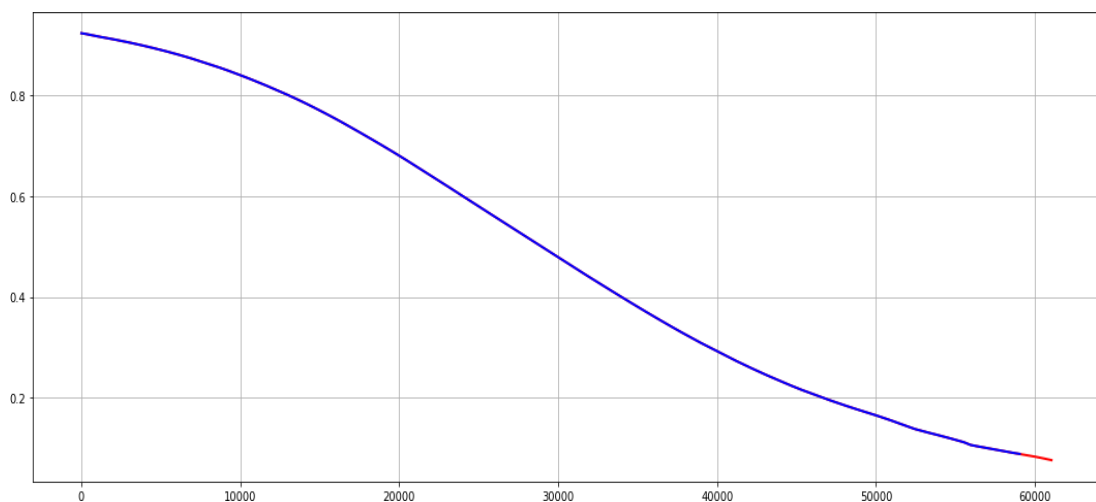


圖 12 即時資料用於預測設備健康指數，顯示出隨時間 EHI 逐漸下降

3.3 人為操作疏失預防系統開發

3.3.1 擴增實境之機台介面

為了在穿戴式裝置 Hololens 2 上實現人為疏失預防系統，首先是將機台的相關資訊，包含尺寸與介面佈置匯入開發軟體中，在這邊我們使用 Unity 3D 作為開發平台，並藉由 Vuforia 擴增實境軟體開發工具包，製作機台的虛擬操作面板。

Vuforia 為擴增實境(Augmented Reality , AR)在行動裝置上的開發套件，透過計算機視覺技術辨識與擷取平面圖像，然後在該平面上放置虛擬物體，能賦予該虛擬物體額外功能與執行程序。其做法為指定一圖像作為 Image Target，透過獨特的 License Key 建立該圖像與虛擬物體之間的連結，當裝置的攝影機拍攝到 Image Target 的圖像後，便會在上面建立起虛擬圖像。

因此，我們使用機台介面的照片作為 Image Target，並在上面放置虛擬按鈕，藉此便能實現將機台於擴增實境中呈現(圖 13)。

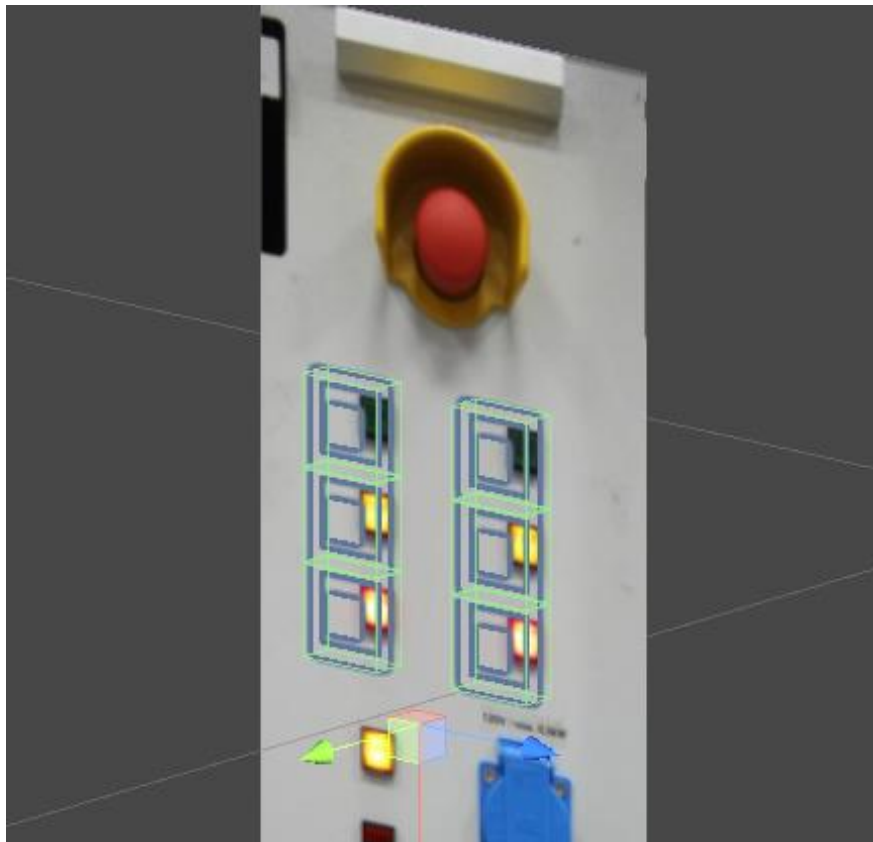


圖 13 機台介面與虛擬按鈕(上圖綠色方框)

3.3.2 人類行為預測方式

為了預測操作者是否將按下某按鈕，使用了眼球追蹤系統來偵測操作者目前的視線方向，若操作者注視某按鈕超過 1 秒，我們則判定操作者有按下按鈕的意圖，為了引導使用者注視正確的按鈕，我們透過擴增實境文字指示操作者當下的操作程序，當操作者的視線落在正確的按鈕上時則隱藏文字。

同時，手部動作作為操作機台的主要方式，手部追蹤的部分我們使用 Hololens 2 內建的手勢追蹤函式庫，可透過影像處理與深度感測攝影機捕捉手部位於空間中的位置與動作，進而取得每個指節在空間中的座標。為了判斷是否將按下按鈕，我們在手部模型的食指指尖上放上了一感測點，當該點太過靠近由 Vuforia 建立的虛擬按鈕，即認為使用者有按下該按鈕的意圖。若將要按下之按鈕並非正確的操作程序，則會跳出巨大的”WARNING”警示使用者。由於眼部追蹤系統使用上有個體差異問題（近視、遠視），在實際應用上校正效果不佳，所以並未實際應用於研究成果。

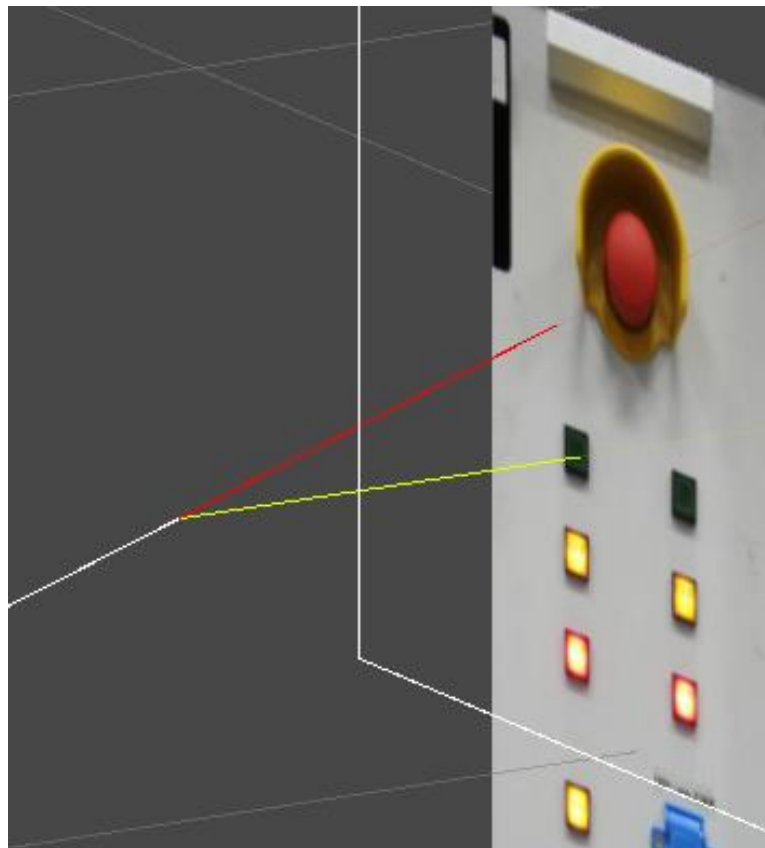


圖 14 眼動儀運作示意圖（黃色線為操作者的視線方向，此時會判斷操作者將按下左上角綠色按鈕）

四、結果呈現

4.1 流程結構圖

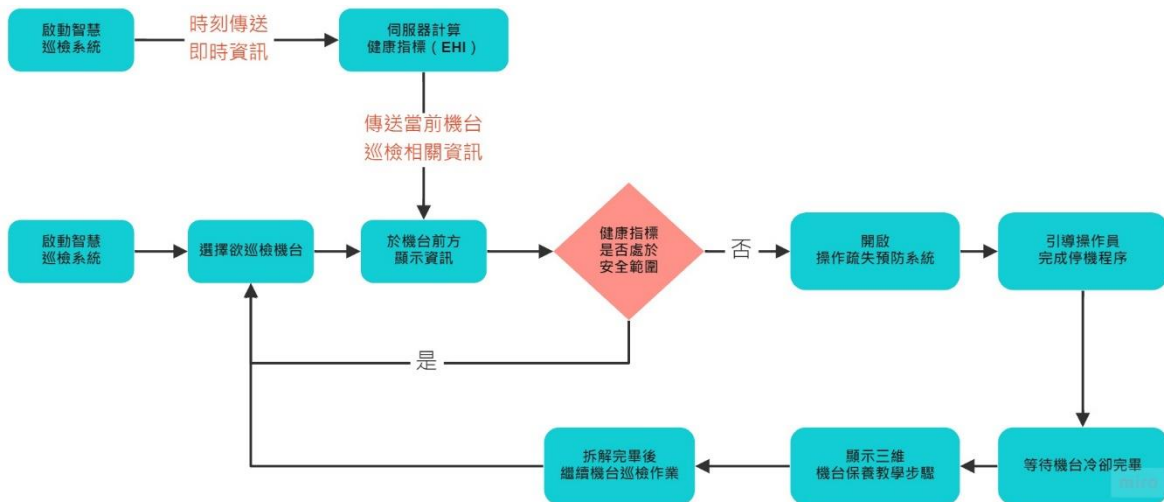


圖 17 智慧巡檢流程結構圖

4.2 系統使用流程

Step1：

將左手掌心朝上舉起，並用右手手指點選欲進行巡檢的半導體機台編號。



圖 18 點選機台編號

Step2 :

等待眼鏡對於半導體機台操作介面（即氣閥開關按鈕版面）辨識結果，並將機台當前健康指數和相關統計資訊顯示於操作介面旁。



圖 19 機台資訊顯示介面

Step3 :

根據機台健康度和 PHM 模型評估之結果指示執行步驟：若機台評估結果為健康，則繼續巡檢其它機台（回到 Step1）；若評估結果為異常狀態，則點擊對應的按鈕進行機台冷卻或緊急停機動作（開啟操作疏失預防功能 Step4）。

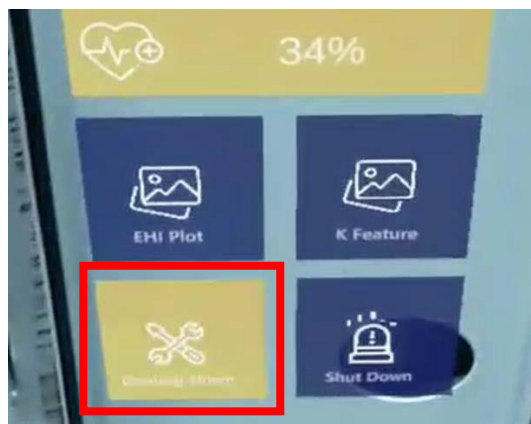


圖 20 健康診斷提示燈號

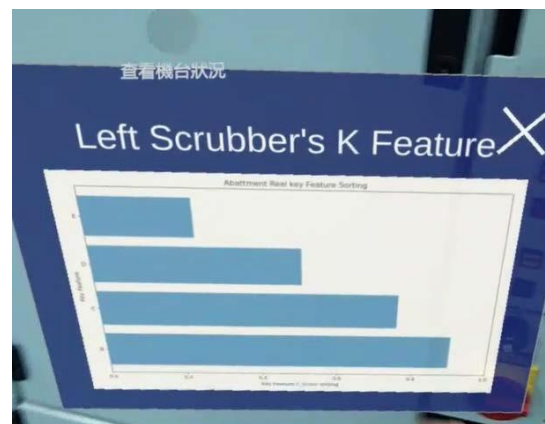


圖 21 機台資訊圖表

Step4：

進入機台冷卻或緊急停機動作後，巡檢人員只需依照穿戴式眼鏡上之步驟引導指示按下按鈕即可完成作業。若過程中穿戴式眼鏡判斷操作員的手指靠近錯誤的按鈕，將會同時發出視覺及聽覺的刺激警示避免錯誤操作的發生。

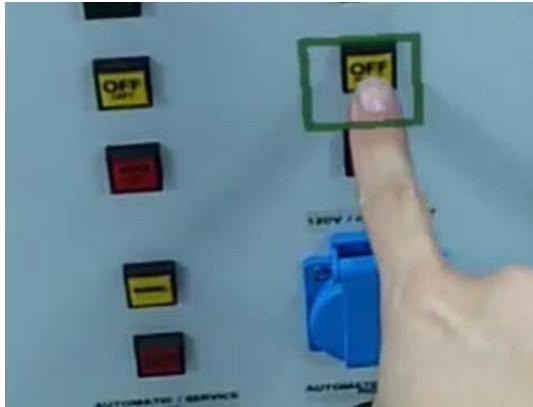


圖 22 視覺化步驟指示



圖 23 健康診斷提示燈號

Step5：

完成停機步驟後，由於需要 10 至 30 分鐘待機台冷卻完畢才能進行後續的拆卸和保養，因此我們在等待冷卻的機台前方生成一倒數計時器，並在冷卻完畢後在智慧眼鏡上進行提示，減輕巡檢人員需要同時記憶待冷卻機台的負擔。（等待時亦執行Step1 進行其它機台的巡檢作業）。



圖 24 置於機台前方之冷卻倒數計時器

Step6：

等待冷卻完畢後，按下機台前方的確認按鈕，即開啟 3D 拆卸教學動畫，供巡檢人員確認拆卸程序，避免錯誤的步驟引發零件損壞。



圖 25 3D 機台拆解動畫

Step7：

機台拆卸完畢後即可回到 Step1 進行其它機台的巡檢作業。

五、未來研究方向

· 結合影像辨識技術於巡檢機台辨識：

當前定位功能倚靠 Vuforia 辨識預輸入的目標特徵值，此作法雖然能同時對多台相同型號的機台進行辨識（因同型號機台之介面均相同），能降低需要儲存大量機台特徵資料之容量負擔，但是無法對不同編號之相同型號機台進行區別。本專題目前採用人工選擇欲巡檢機台的方式仍有可能出現選擇錯誤的問題，若要更貼近實際場域之應用，可嘗試將最簡易之辨識數字之機器學習模型嘗試部署至眼鏡中（考慮硬體設備問題，不考慮過於複雜的影像辨識模型），讓巡檢人員看見機台編號時，就能向遠端伺服器取得對應的資訊。

· 優化平面、空間定位技術：

目前使用 Vuforia 的辨識技術仍有可能受實際場域光影的影響，導致顯示的介面與虛擬按鈕產生偏差，使得預防操作疏失的功能產生誤判或未能即時警示。未來可嘗試從鏡頭擷取實際畫面時先對實際場域的照度進行判斷並進行圖像處理，使轉化後的圖像更貼近預輸入的目標特徵值，降低辨識的誤差，或是另尋其他更精準的空間或平面定位方法。

· 優化語音辨識系統：

雖然智慧眼鏡已有內建語音辨識技術，可惜辨識效果並不佳，無法應用於系統功能的觸發條件。可以嘗試優化語音的辨識系統，利用聲控方式取代部分點擊動作，降低操作人員的操作複雜性。

· 加入眼動儀功能

智慧眼鏡目前已具備眼動追蹤功能，雖已嘗試部署進系統內進行實際測試，但是在實際上呈現的效果不佳，未來若有足夠時間，可以在眼動儀功能的部分進行調整與設計，使其更貼近操作者的操作習慣。功能上若能限制操作人員在操作前必須注視對應的物件才能進行動作，預計將可以再降低操作失誤的機率。

· 存取智慧眼鏡之空間座標

因智慧眼鏡之原點座標為開啟應用程式之位置，所以給定座標的物件會在重新開機時產生影響，為了預防應用程式發生過熱當機、閃退等意外而導致機台冷卻計時器的空間座標位置重置，建議在程式執行時能將各機台的巡檢情形、相對座標和冷卻剩餘時間等等資訊進行備份，在重新開啟應用程式時能進行存取。

· 加入物件拆解步驟判斷功能

目前於物件拆解步驟提示功能僅採取播放 3D 動畫的方式，仍須手動進行步驟間的切換，雖然能利用上方提及之語音辨識方式進行聲控指令，但若能夠於眼鏡內寫入物件拆解步驟中的階段性狀態，並讓眼鏡對於物件姿態進行判斷，則能免去操作員對於步驟間確認的作業，僅讓眼鏡對於完整的拆卸步驟進行引導、判斷與錯誤提醒。

- **整合5G傳輸與工業物聯網**

機器學習於智慧眼鏡中直接進行部署之應用尚需要進行硬體方面的測試，但目前已有利用眼鏡作為輸入端，藉由網路傳輸方式於伺服器進行運算後再將結果回傳至眼鏡之實際案例。其中傳遞資料所造成的延遲可透過支援5G傳輸來解決，亦可提升智慧眼鏡與遠端伺服器之計算資料傳輸量。

- **擴大AR智慧巡檢應用**

本研究實踐落了實擴增實境於廠房巡檢應用之可行性，預計未來能針對各種不同的工作場域進行客製化流程設計，用於輔助操作人員進行相關作業。

六、結論

本研究透過智慧型眼鏡實現半導體產業巡檢智能巡檢作業之輔助，有效降低巡檢過程複雜度、降低人為疏失發生機率，並提高整體作業效率，落實智能化巡檢技術原型。

- 以擴增實境為整合平台，針對Scrubber設備，實現「半導體設備智慧巡檢」技術原型。
- 結合預測診斷與健康管理、預防人為疏失功能、頭戴式裝置、物件辨識與互動介面設計等功能，提供高智能的人機協同技術。
- 以實際半導體場域與設備為測試標的，驗證技術之可行性，應是國內最早之成功案例。
- 顯示擴增實境於智慧製造之應用價值。

七、參考資料

- [1] ISO Standard 13850:2015, "Safety of machinery - Emergency stop function - Principles for design"
- [2] 陳威儒，區域洗滌設備異常事件失誤模式探討以某半導體廠為例，國立交通大學，碩士論文，2012
- [3] Ping Xu, Zili Wang and Vue Li, "Prognostics and Health Management (PHM) System requirements and validation," 2010 Prognostics and System Health Management Conference, Macao, 2010, pp. 1-4, doi: 10.1109/PHM.2010.5413560.
- [4] T. Sutharssan, S. Stoyanov, C. Bailey and C. Yin, "Prognostic and health management for engineering systems: a review of the data-driven approach and algorithms," in The Journal of Engineering, vol. 2015, no. 7, pp. 215-222, 7 2015, doi: 10.1049/joe.2014.0303.
- [5] L. Hui, Z. Hao and P. Daogang, "Research and Application of Communication Gateway of EPA and MODBUS/TCP," 2013 5th International Conference and Computational Intelligence and Communication Networks, Mathura, 2013, pp. 166- 170, doi: 10.1109/CICN.2013.44.
- [6] 自動化和現場設備之間的快速通訊：MODBUS © 2020 WAGO_
<https://www.wago.com/tw/modbus>
- [7] Liu, Lijuan, Bo Shen, and Xing Wang. "Research on kernel function of support vector machine." Advanced Technologies, Embedded and Multimedia for Human- centric Computing. Springer, Dordrecht, 2014. 827-834.
- [8] 邱靖哲、孫正、翁晨毓，基於擴增實境之半導體智慧巡檢技術，清華大學，大學部專題論文，2020