國立勤益科技大學工業工程與管理系

113 學年度實務專題競賽

智慧廠區連線技術與可視化之探討

摘要

工業 4.0 驅動製造業邁向數位化，智慧工廠之建構聚焦於垂直整合生產場域的控制裝置、感測元件與執行機構，並透過分層式通訊架構實現即時數據雙向傳輸。本研究以系統整合視角，探討智慧化產線之多層次技術架構，了解網路層(Network Layer)採用 Modbus 通訊協定建構設備互聯骨幹，以及數據應用層(Data Layer)整合製造執行系統(MES)與監控與數據採集系統(SCADA)的工業資訊系統框架。然後以 Factory I/O 之模擬建構智慧輪框加工產線，包含自動上料、CNC 多軸加工、機器視覺品質檢測及動態分揀等製程單元，透過 PLC 實作設備控制邏輯，並採用 Modbus TCP 協定驗證設備間通訊介接模式。最後以 Power BI 平台設計戰情儀表板，設計三項功能模組：產能監控模組追蹤即時產量與品質趨勢；異常管理模組標記設備運作偏離事件；效能評估模組整合稼動率與機台參數，生產數據即時可視化，有效提升生產線效能。

關鍵字： MES、SCADA、Factory I/O、可視化

1. 緒論

全球製造業加速數位轉型，智慧廠區的建置成為提升生產彈性與管理效率的核心策略。然而，企業導入智慧系統常面臨通訊協定整合複雜、可視化數據應用門檻高及實體測試風險等挑戰。本專題以連線技術穩定性與生產資訊可視化為核心，透過 Factory I/O 模擬產線，結合 Modbus 通訊協定與 PLC 系統，驗證設備即時數據交換可行性；並運用 Power BI 整合數據建立監控儀表板，分析關鍵效能指標的視覺化模式。

1.1 研究背景與動機

工業 4.0 驅動製造業邁向數位轉型，企業可透過智能化技術整合生產資源，因應市場快速變動與競爭。智慧工廠的核心在於建構即時、彈性且穩定的工業通訊架構，透過垂直整合控制裝置、感測器與執行器，實現設備互聯與數據可視化，進而提升生產效率與決策品質。此轉型不僅需導入物聯網(IIoT)與大數據分析技術，更須建立分層式通訊模式，使現場總線網路(Fieldbus)能有效串接異質系統，解決製造場域中數據孤島與協同運作瓶頸。

本專題聚焦智慧工廠之系統整合實務，探討分層式通訊架構設計如何支援設備數據採集與管理平台串接。在實務層面，工業通訊協定需具備高度相容性與擴充彈性，以適應既有設備升級與新技術導入需求，故本專題建構模擬產線，結合可程式邏輯控制器(PLC)與感測元件實作設備互聯，並透過標準化通訊介面驗證數據傳輸穩定性。同時，開發可視化戰情儀表板，整合生產監控與設備效能指標，凸顯即時數據分析於製程優化之價值。

1.2 研究目的和方法

本專題旨在建構模擬智慧廠區架構，整合設備聯網與數據可視化技術，具體目標包含：

1. 虛實整合產線建模：運用 Factory I/O 軟體模擬含感測器、輸送裝置與加工單元的智慧產線，建立貼近實務的製造場景。
2. 設備數據聯網驗證：透過工業通訊協定串接 PLC 與虛擬設備，實現指令傳輸與狀態監控，評估連線穩定性。
3. 戰情視覺化實作：導入 Power BI 平台設計互動式儀表板，即時呈現產能、設備效能與異常事件，提升決策支援效率。

本專題的研究流程分為五階段(如圖 1)，說明如下：

1. 技術框架建立：透過文獻分析確立智慧製造系統架構，涵蓋設備互聯、數據流設計與可視化

工具選型。

2. 模擬產線開發：於 Factory I/O 建置輪框加工產線，設定感測器觸發條件與輸送邏輯，模擬上料、加工、檢測至分揀流程。
3. 通訊系統整合：以 PLC 為控制核心，透過標準化通訊介面串接模擬設備，驗證雙向數據傳輸與即時控制可行性。
4. 視覺化系統設計：擷取 Modbus 通訊數據並轉換為結構化格式，於 Power BI 建置三層儀表板(產線監控、異常告警、OEE 分析)，實現數據驅動決策。
5. 成效驗證與優化：測試系統延遲性、數據更新頻率與介面易用性，提出通訊參數調校與儀表板功能擴充建議。



圖 1 研究流程

2. 文獻探討

智慧工廠需整合通訊協定、感測裝置與管理系統，故以工業 4.0 技術架構為基礎，探討智慧工廠分層架構(實體層、網路層、應用層)的運作模式。其次，針對 Factory I/O 的模擬功能，解析其物料處理、感測器應用與 PLC 控制邏輯的虛實映射關係；最後了解 Modbus 通訊協定與可視化技術，奠定後續實作基礎。

2.1 智慧工場架構

智慧工廠的技術架構以工業 4.0 為核心目標，透過分層整合實體設備、通訊協定與數據管理系統，實現生產流程的自主協作與即時優化。Chen et al. (2018)提出四層架構模型(圖 2)，其運作模式說明如下：

1. 實體資源層(Physical Resources Layer)

整合製造全週期設備(如機台、感測器)，為客製化生產提供實體基礎，需突破現有技術瓶頸以滿足智慧工廠需求。

2. 網路層(Network Layer)

透過工業級通訊協定(5G/工業乙太網/MQTT)建立即時傳輸架構，串接實體資源與雲端平台，確保跨層數據同步與設備互操作性。

3. 資料應用層(Data Application Layer)

基於雲端製造(CMfg)架構，運用雲計算實現數據聚合分析，強化平台語義解析能力，驅動製造決策智能化。

4. 終端層(Terminal Layer)

提供多元人機介面(行動裝置/監控系統)，可視化雲端數據並支援遠端診斷，實現基於實時反饋的預測性控制。

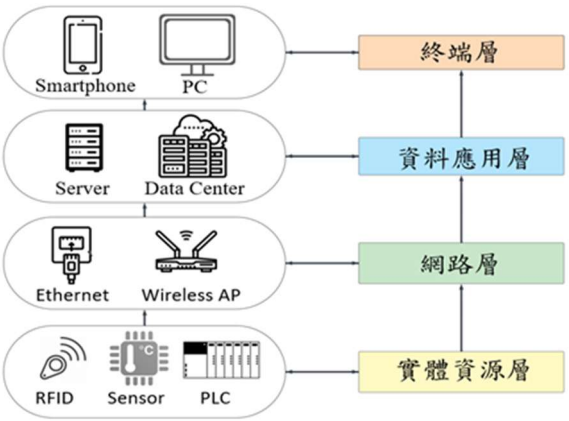


圖 2 智慧工廠層次結構

2.2 Factory I/O 工廠模擬功能

Factory I/O 為工業自動化系統設計的 3D 模擬軟體，可模擬智慧工廠的生產流程與設備協作，並支援 Modbus 通訊整合。其核心功能分述如下：

1. 物料輸送與處理

透過輸送帶、滾筒輸送機、AGV(自動導引車)及機械手臂等設備實現物料搬運自動化。輸送帶依據需求設定連續或間歇運轉，適用於輕型物料；滾筒輸送機利用重力或動力滾筒搬運重型物料；AGV 可靈活導航並避障；機械手臂則精準執行抓取、分揀等高重複性任務。分揀系統結合感測器與

控制邏輯，自動分類物料至指定路徑，減少人為錯誤。

2. 感測器與數據收集

Factory I/O 常見的感測器包括光電感測器(6)、RFID 讀取器(8)、視覺感測器(9)和近接感測器(3)，如圖 3 所示。光電、RFID、視覺與近接感測器構成工業檢測系統核心：光電感測器觸發設備啟停，RFID 追蹤物料信息確保製程精度，視覺系統結合影像處理執行缺陷檢測，近接感測器則以非接觸方式偵測物體位置，各類檢測信號皆可即時傳輸至 PLC 進行自動化控制。

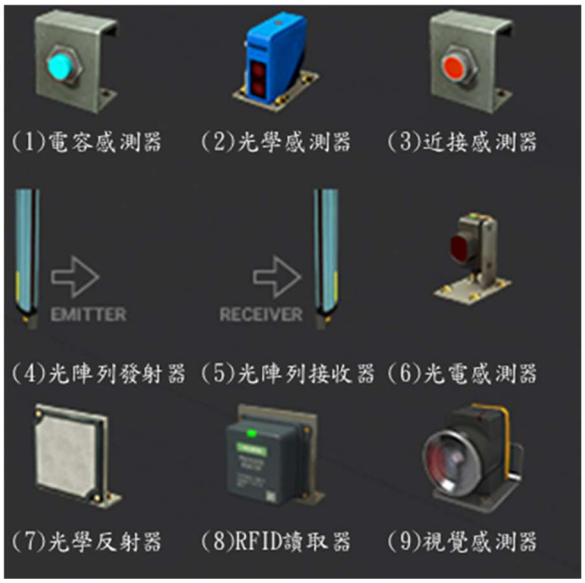


圖 3 Factory I/O 常見的感測器

3. PLC 控制與自動化邏輯

PLC 控制為自動化邏輯的核心，透過梯形圖(Ladder Logic c 編程協調設備運作。控制邏輯包含條件判斷、定時器及計數器功能，例如接收光電感測訊號後啟動輸送帶，或依據視覺檢測結果控制分流臂導向。PLC 同時整合機械手臂、AGV 與加工設備的協作順序，實現遠端監控與數據分析。

4. 製造流程與機器運作

製造流程模擬則涵蓋整條產線的動態驗證，包括 CNC 加工、品質檢測與成品分揀。使用者可調整設備參數(如輸送速度、加工週期)，並透過模擬高負荷運轉、設備故障等情境測試系統穩定性。結合 IoT 技術後，Factory I/O 能即時收集數據並優化生產效率，例如預測性維護排程或動態調整產線節拍。

2.3 Modbus 通訊協定

Modbus 為工業自動化領域廣泛應用的通訊協定，其核心特性與應用分述如下：

1. 協定發展與架構特性

Modbus 由 Modicon 公司於 1979 年提出，初期應用於 PLC 間通訊，現已成為工業標準協定。其採用主從式架構，單一主設備(Master)可控制多個從設備(Slaves)，支援 RS-485、乙太網路、無線通訊等多種傳輸媒介，具備高相容性與佈建彈性。協定結構簡潔，僅包含設備位址、功能碼、資料位址及校驗碼(串行模式)，易於實作與擴充。

2. 傳輸類型與模式

Modbus 依傳輸媒介分為兩大類型：

(1) Modbus RTU：基於 RS-485 介面的串行通訊，使用二進制格式封裝數據，適用於單一主機控制多設備的場景，並透過 CRC 校驗碼確保資料完整性。

(2) Modbus TCP/IP：基於乙太網路的版本，封包格式與 RTU 一致，但省略 CRC 校驗，改由 TCP/IP 協定處理錯誤檢測。其透過 502 通訊埠傳輸，可直接整合於現有網路架構，適合高速、大規模設備聯網。

傳輸模式包含三種：

(1) ASCII 模式：以可讀 ASCII 字元傳輸，適用於低速通訊或除錯需求。

(2) RTU 模式：以緊湊二進制格式提升傳輸效率，為工業環境主流應用。

(3) TCP 模式：整合乙太網路高速傳輸優勢，支援跨平台設備互通。

3. 資料格式與功能定義

Modbus 資料框架分為協議數據單元(PDU)與應用數據單元(ADU)，PDU 包含功能碼與數據內容，功能碼定義操作類型(如讀取線圈、寫入暫存器)；ADU 則於串行模式添加設備位址與校驗碼，或於 TCP 模式添加 MBAP 標頭，其支援以下四種資料類型：

(1) 線圈(Coil)：可讀寫的單一位元開關狀態。

(2) 離散輸入(Discrete Input)：僅可讀取的位元狀態。

(3) 保持暫存器(Holding Register)：可讀寫的 16 位元數值，儲存設備參數或控制指令。

(4) 輸入暫存器(Input Register)：僅可讀取的 16 位元數值，多用於感測器數據回傳。

4. 工業應用優勢

Modbus 憑藉結構簡單、實時性高與跨平台相容性，成為智慧工廠設備整合的基礎通訊協定。其 TCP 版本尤其契合工業 4.0 需求，可透過乙太網路實現 PLC、感測器的無縫串接，並支援雲端平台整合。此外，開放性架構降低廠商綁定風險，使企業能靈活擴充或替換設備。

2.4 工業數據的分類

首先提到工業數據的分類，數據的產生時間劃分為設計規劃、生產製造和產品維護等 3 個階段(Liu et al., 2021)，說明如下：訂單轉需求作業系統操作步驟及說明如下：

1. 設計規劃階段

為了確保資訊的組織、分析與管理而建立的數據範圍或區域，通常涵蓋了產品設計、製程規劃、資源配置、時間表安排等相關數據。這些數據域的核心目的是確保在整個產品開發過程中，數據能夠有效地流通並且能夠為後續決策提供支持。

2. 生產製造階段

在生產過程中，與生產、製造活動相關的各種數據集合。這些數據涵蓋了從原材料進場、加工製造、質量檢測到產品出貨等各個階段的運行資料，並有助於管理、監控、優化生產流程。生產製造數據域的主要目的是確保生產過程高效、可控、並能夠實現精益生產和質量管理。

3. 產品維護階段

在產品生命周期中，與產品維護、保養、修理以及故障處理相關的所有數據。這些數據通常涵蓋了產品的維護計劃、歷史維修記錄、故障分析、零部件狀況等，目的是保障產品在使用過程中的穩定性、延長產品壽命並減少運營中斷。維護數據域對於提升產品可靠性、降低維護成本、預測設備故障、提高資源使用效率等方面具有重要作用。

2.5 工業數據分類規劃

本專題以生產製造場域做為規劃重點，故可視化面板數據規劃分為兩種：

1. 工況狀態

記錄了工廠或設備在每個時刻的工作情況。這些數據大多來自感測器，顯示了設備的物理或化學屬性，比如溫度、壓力、速度、流量等。根據這些數據，經過簡單計算，可以得到像工作效率、危險指標等聚合信息。

2. 控制信息

記錄工廠中各個時刻可以直接調控的數據。這些包括設備的設置參數(例如傳送帶速度、電流頻率、流量等)及人力資源的安排(如工種、工人數量、工人調度等)。尤其在建築行業，合理分配人力資源能提高安全性和效率。



圖 4 生產製造階段數據分類圖

3. 智慧工廠系統架構

本章聚焦於系統規劃與需求分析，旨在建立一套完整的智慧廠區模擬框架，涵蓋從環境建模、數據連線到可視化介面設計的全流程。

3.1 智慧工廠系統架構

本專題以輪框車削作業為範例，整合 CNC 切削機、機械手臂與視覺分揀系統，透過 Modbus TCP 將感測器數據傳輸至 SCADA 進行現場監控，再與 MES 資料庫互通，最後以 Power BI 將關鍵指標(如稼動率、良率)直觀呈現，構建一套端到端的智慧工廠模型。整體架構分為三層，如圖 5 所示。

1. 實體資源層: 包含生產機台、感測器與輸送系統，負責資料生成與初步處理。例如 CNC 切削機搭載視覺感測器，機械手臂配備光電感測器，確保現場作業資訊即時蒐集。
2. 網路層：以 Modbus TCP 為主的通訊協定實現設備間的雙向數據交換，並透過 SCADA 系統執行對生產流程的即時監視與報警管理，確保各單元協同運作且資訊同步流通。
3. 資料應用層：由 MES 負責生產排程、品質管控與設備維護等業務邏輯，並利用 Power BI 進行歷史數據分析、即時看板與故障預警，提供決策者直觀、可操作的儀表板，實現全面的數據驅動管理。若訂單產品缺貨，則需進行產銷協調-訂單轉需求作業。建立單據時，需依產品性質決定產生何種單據。

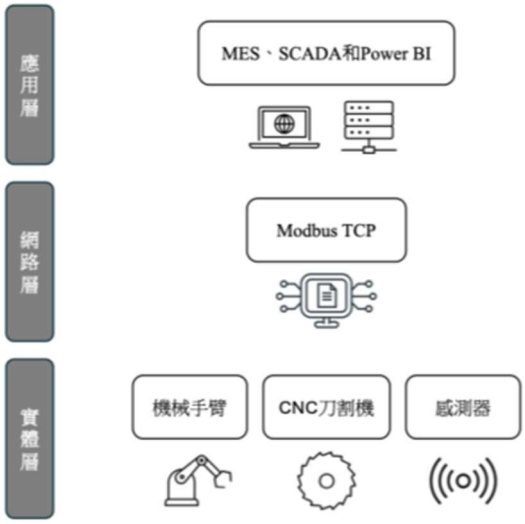


圖 5 智慧工廠分層架構

3.2 工廠環境建模

本專題透過 Factory I/O 軟體模擬智慧工廠產線，建構一條涵蓋輸送帶、CNC 加工機、機械手臂、感測器與分揀系統的輪框加工線。模擬流程採模組化設計，對應實際生產步驟:「原料上料→CNC 加工→品質檢測→成品分流」，達成虛實整合的測試環境，如圖 6 所示。

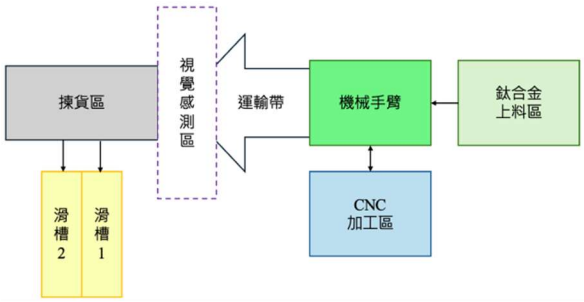


圖 6 實體層平面圖

以下依生產動線說明其功能與協作機制：

1. 鈦合金上料區作為原料儲存與初始定位的核心區域，存放鈦合金輪框毛坯。接著，機械手臂負責跨區域物料轉運，通過 Modbus TCP 與 PLC 通訊，接收 SCADA 系統指令，動態調整取放路徑，確保物料在運輸帶與 CNC 加工區之間的高效流轉。
2. 進入 CNC 加工區，這是輪框精密切削與結構成型的關鍵區域。配置五軸聯動 CNC 加工中心，搭載 PCD 刀具進行高光潔度切削。此區域即時監視耗電量，數據經由 Modbus TCP 傳輸至 SCADA，確保加工過程的穩定性與品質可控性。加工後的輪框通過運輸帶進行動態輸送與緩衝。整合光電感測器，觸發機械手臂協同作業，避免物料堆積，確保生產線的連續性。
3. 進入視覺感測區，負責缺陷識別。即時辨識表面瑕疵(如刮痕、孔位偏移)，NG 品標記後數據會傳送至 SCADA，確保品質一致性。
4. 揀貨區完成成品分類與出庫導向。滑槽 1 將合格品導向至包裝區；滑槽 2 將不合格品導向至返修站。分揀門依據視覺檢測結果動態切換導向路徑，確保成品分流的準確。

整體控制邏輯由 PLC 透過階梯圖實現，涵蓋緊急停止、啟動控制與系統初始化三大功能。其中，按鈕與指示燈元件連結邏輯位址，確保異常時自動停機與警報提示能即時生效，提高模擬環境的安全與真實性。

在 Factory I/O 設定方面，各單元分別設有對應感測與動作元件，並將這些數位信號映射至 PLC 內部記憶體，實現虛擬設備與邏輯控制器的

數據互通。整合過程中所產生的數據可串接至 Power BI 平台，進行視覺化儀表板設計，支援即時監控與後續分析。

3.3 可視化介面規劃

可視化介面設計以三大主題分類呈現：產量總覽、異常分析與設備效能。各主題依照資料來源特性與監控重點，規劃出相對應的圖表類型與互動方式，確保使用者能直觀掌握關鍵指標與異常狀態。以下將針對產量總覽之介面名稱及其功能用途予以說明(如圖 7)。



圖 7 產量總覽介面設計圖

主要包括當日的總產量、良品率、不良率等核心生產績效指標，透過趨勢圖與分類比較，協助掌握生產穩定性與品質現況。藉由操作員與班別的產量分析，可針對人員效率與排班效能進行檢討，做為後續排程優化與現場管理改善的依據。

1. 今日總產量：今日生產完成的總件數，衡量整體產能。
2. 平均產量：單位時間內的平均生產件數，反映生產效率。
3. 最高單筆產量：單一時間段或作業批次中，最高產出的件數。
4. 良率:符合品質標準的成品占總產量的百分比。
5. 不良率：不合格品占總產量的百分比，顯示品質異常比例。
6. 產量趨勢：不同時間點的產量變化，用於觀察產能波動情形。
7. 不良品占比：合格品與不良品的數量比例。
8. 各班產量比較：不同班別(如早班、中班、晚班)之間的產量對比。
9. 操作員產量比較：不同操作員個別完成的產量比較。

為確保資料分析具備可讀性與邏輯一致性，本專案依據實際生產流程及監控需求，設計三類資料表：產量總覽、異常分析與設備效能。每個資料表皆對應現場實際記錄的內容，透過欄位命名與分類設計，精準呈現生產資訊、人員紀錄、設備狀態與異常處理歷程。以下將針對產量總覽之工作表進行欄位名稱及其功能用途予以說明。

	A	B	C	D	E	F	G
1	時間戳記	機器編號	班別	操作員姓名	生產數量	合格品	不良品
2	2025-04-01 00:00:00	機器1	晚班	操作員C	15	14	1
3	2025-04-01 00:15:00	機器1	晚班	操作員C	13	13	0
4	2025-04-01 00:30:00	機器1	晚班	操作員C	14	14	0
5	2025-04-01 00:45:00	機器1	晚班	操作員C	13	13	0
6	2025-04-01 01:00:00	機器1	晚班	操作員C	15	15	0
7	2025-04-01 01:15:00	機器1	晚班	操作員C	13	13	0
8	2025-04-01 01:30:00	機器1	晚班	操作員C	15	15	0
9	2025-04-01 01:45:00	機器1	晚班	操作員C	14	14	0
10	2025-04-01 02:00:00	機器1	晚班	操作員C	15	15	0
11	2025-04-01 02:15:00	機器1	晚班	操作員C	14	14	0
12	2025-04-01 02:30:00	機器1	晚班	操作員C	13	12	1
13	2025-04-01 02:45:00	機器1	晚班	操作員C	15	15	0
14	2025-04-01 03:00:00	機器1	晚班	操作員C	12	12	0
15	2025-04-01 03:15:00	機器1	晚班	操作員C	14	14	0
16	2025-04-01 03:30:00	機器1	晚班	操作員C	14	14	0
17	2025-04-01 03:45:00	機器1	晚班	操作員C	15	15	0
18	2025-04-01 04:00:00	機器1	晚班	操作員C	15	15	0
19	2025-04-01 04:15:00	機器1	晚班	操作員C	15	15	0
20	2025-04-01 04:30:00	機器1	晚班	操作員C	13	13	0
21	2025-04-01 04:45:00	機器1	晚班	操作員C	13	13	0
22	2025-04-01 05:00:00	機器1	晚班	操作員C	15	14	1
23	2025-04-01 05:15:00	機器1	晚班	操作員C	15	15	0
24	2025-04-01 05:30:00	機器1	晚班	操作員C	14	14	0

產量總覽　異常分析　設備效能　+

圖 8 產量總覽欄位

1. 時間戳記：資料記錄時間，單位通常為每 15 分鐘一筆。
2. 機器編號：資料來源的機台名稱或編號。
3. 班別：生產時間所屬的班次，例如：早班、中班、晚班。
4. 操作員姓名：該時段負責操作機器的作業員名稱。
5. 生產數量：該時間內的總生產數(含良品與不良品)。
6. 合格品：通過檢驗的良品數。
7. 不良品：未通過檢驗的不良品數。

良率(Yield Rate)是一項關鍵指標，代表在全部產出中，有多少比例為合格產品。在 Power BI 中，我們可以透過 DAX(Data Analysis Expressions)語法建立一個動態量值，用以即時計算並呈現良率。

```
1 良率 = DIVIDE('產量總覽'[合格品], '產量總覽'[合格品] + '產量總覽'[不良品], 0)
```

圖 9 良率的 DAX 運算邏輯示意圖

1. DIVIDE(X,Y,0)：這是 DAX 中的安全除法函數，用來執行 X÷Y 的運算。如果分母 Y 為零，則會回傳指定的第三個參數(此處為 0)，以避免錯誤。
2. ‘產量總覽’[合格品]：此欄位代表合格產品的數量。
3. ‘產量總覽’[不良品]：此欄位代表不良產品的數量。
4. 良率的計算邏輯為：「合格品數量÷(合格品+不良品總數)」，也就是合格產品所占的總產出比例。

4. 系統設計與實作成果

本專題採用 Factory I/O 搭配西門子 PLC 與 Modbus 通訊，建構虛實整合的測試環境。實作分為五階段：場域建置、PLC 整合、連線設定、介面開發與系統驗證。模擬產線流程並透過 Power BI 顯示感測數據，實現即時圖形化監控。

4.1 Factory I/O 安裝與場域建置

本專題以輪框車削作業為主，運用 Factory I/O 建構智慧廠區場域，模擬 CNC 加工結合輸送帶、視覺感測與分檢系統的自動化流程。操作細節如下：

1. 開啟 Factory IO，並開啟一個新的場域專案(如圖 10、圖 11)。



圖 10Factory IO 檔案介面

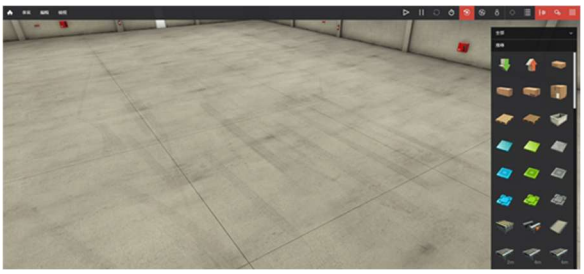


圖 11 新的場域

2. 打開廠區設備總覽，裡面包含物件、重負載元件、輕負載元件、感測器、控制元件等廠區設備，如圖 12 所示。



圖 12 廠區設備選取欄與類別總覽

建置的場域設備主要分為上料區、加工區及分揀區三個單元，以下予以詳細說明:

(一)上料區

此區域為輪框車削製程的核心前處理單元，負責原料接收、加工及自動化輸送。此區域所需用到的物件有：傳輸帶、上料間和近接感測器，如圖 13 所示。

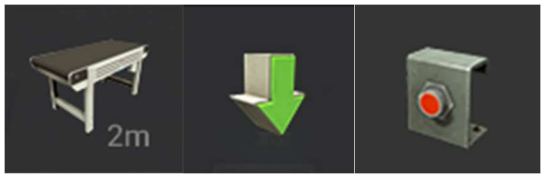


圖 13 傳輸帶、上料間和近接感測器

上料區內，原料輪框暫存於上料間，當近接感測器偵測到待加工輪框時，便觸發傳輸帶啟動，將工件平穩輸送至加工區，如圖 14 所示

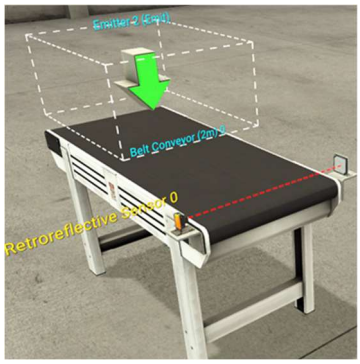


圖 14 上料區

(二)加工區

此區域為輪框車削製程的核心加工單元，負責執行精密切削與即時品質監控。此區域所需用到的物件有：CNC 加工中心、機械手臂、視覺感測器及振動感測器。

加工區內，輪框毛坯經輸送帶送至定位平台，當視覺感測器偵測到輪框位置後，觸發機械手臂夾取工件並精準放置於 CNC 夾具。CNC 依預設參數執行五軸聯動切削，加工過程中振動感測器持續監控主軸狀態，若振幅超過 5 μm 即觸發警報並暫停作業，如圖 15 所示。加工完成後，機械手臂將成品移載至輸送帶，送往分檢區進行品質檢測。



圖 15 加工區

(三)分揀區

此區域為輪框車削製程的核心品質管控單元，負責成品檢測與自動分類。此區域所需用到的物件有：視覺感測器、分流臂、滑道及出料口。

分檢區內，加工完成之輪框經輸送帶送至檢測工位，當視覺感測器偵測到輪框後，即啟動影像分析系統。系統比對輪框表面瑕疵與尺寸公差，若符合標準則標記為良品，反之標記為不良品，如圖 16 所示。檢測結果透過 Modbus TCP 傳輸至 PLC，驅動分流臂旋轉至對應角度，將輪框導向指定滑道：良品滑入包裝區，不良品則進入返修站。

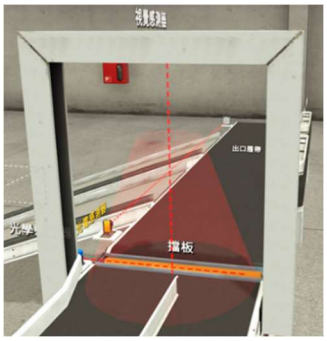


圖 16 分揀區

圖 17 呈現輪框車削製程的完整場域布局，整合上料區、加工區與分檢區三大單元，實現「原料輸入→精密加工→品質檢測→成品輸出」全自動化流程。各區域透過輸送帶系統串接，並以 Modbus TCP 協定即時傳輸數據，確保設備協作無縫銜接。



圖 17 場域設置完整圖

4.2 場域連線

透過 Modbus TCP 協定，建立 Factory I/O 模擬環境與西門子 PLC 的即時連線，架構以 Factory I/O 為 Modbus 主站，直接連接 PLC 從站，無需中介伺服器。連線流程分二步驟說明：

(一)Factory I/O 內部設置

1. 通訊協定選擇

進入 Factory I/O 通訊設定介面(如圖 18)，選擇 Modbus TCP/IP 驅動程式。

2. 伺服器參數設定

主機 IP 設為 127.0.0.1(本機地址)，通訊埠 502、伺服器 ID 1，啟用自動啟動功能並選用 Loopback Interface 1 網路介面，確保本地通訊穩定(如圖 19)。此設定實現感測器信號映射至 Modbus 寄存器，例如輸送帶物體檢測觸發控制邏輯。

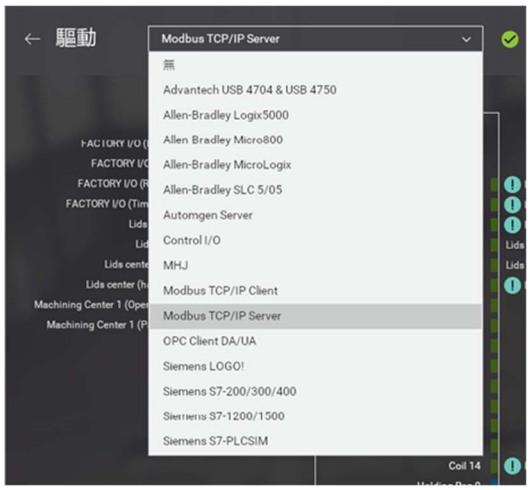


圖 18 Factory IO 通訊協定選取介面



圖 19 Factory I/O 伺服器參數設定

(二)Modbus Poll 設定與驗證

1. 連線基本設定

開啟 Modbus Poll，點擊 Connect 進入設定(如圖 20)，選用 Modbus TCP/IP 協定，設定 IP、埠號 502 及 Slave ID，驗證感測器狀態(如 Coil 00000 數據)正確觸發控制邏輯。

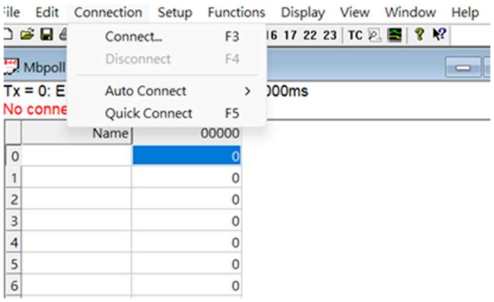


圖 20 Factory I/O 伺服器參數設定

2. 讀寫參數設定

通訊協議選擇 Modbus TCP/IP，遠端伺服器 IP 設為 127.0.0.1，埠號 502，連線超時 3000 ms，輪詢間隔 20 ms。(如圖 21)

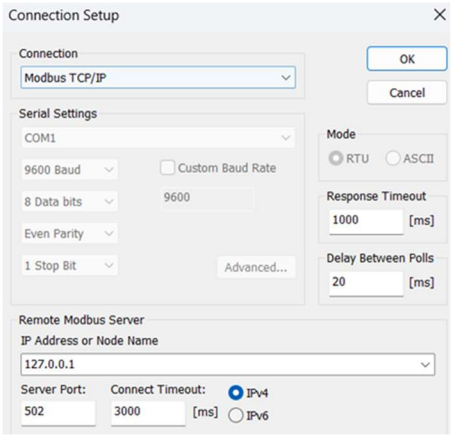


圖 21 Modbus Poll 數據讀取設定

4.3 可視化界面實作

本章闡述 Power BI Desktop 視覺化設計流程，從資料匯入與預處理著手，依數據特徵選用合適圖表類型，並優化視覺格式與互動功能，透過直觀呈現強化數據洞察力。

有關資料寫入 Excel 的來源結構與內容，以及轉換為相容格式，依需求說明操作步驟如下：

1. Excel 初始欄位建置

(1) 確認資料欄位結構

在將資料寫入 Excel 之前，需要確定資料結構。以此次可視化介面設計為例，包含以下欄位：

- 設備編號(Equipment ID)：記錄每個設備的唯一識別編號。
- 日期(Date)：記錄數據的時間。
- 運行狀態(Operation Status)：記錄設備的運行狀態(如運行、停止、故障等)。
- 運行速度(Speed)：記錄設備的運行速度，單位可能是「米/分鐘」。
- 能耗(Energy Consumption)：記錄設備的能耗，單位可能是「千瓦/小時」。
- 故障時間(Downtime)：記錄設備故障的時間，單位是「小時」。
- 生產量(Production Quantity)：記錄生產數量。

(2) 設置 Excel 欄位：根據收集的資料，設置 Excel 表格的欄位。

(3) 將資料匯入 Excel：完成數據採集後，需將資料導入至 Excel 表格。

(4) 資料檢查與格式設定：資料輸入 Excel 後，檢查是否有任何格式錯誤，並進行必要的格式設定。

2. 設定資料連線

選擇資料來源後，依提示設定連線參數(含檔案路徑、伺服器名稱及驗證資訊)，驗證連線狀態後執行資料擷取。

3. 預覽與選取資料

系統顯示資料預覽畫面，供確認內容並選取導入範圍。

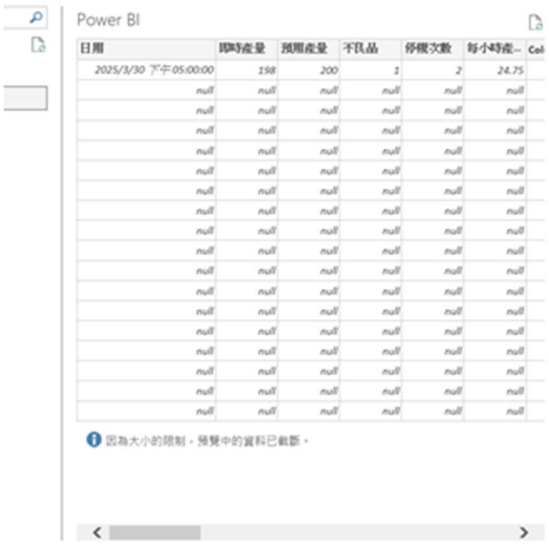


圖 22 載入資料預覽畫面

4. 選擇資料處理方式

在確認資料後，可選擇以下兩種方式進行後續處理：

(1) 直接載入(Load)：將資料直接匯入 Power BI 資料模型中，供後續視覺化使用。

(2) 轉換資料(Transform Data)：進入 Power Query 編輯器，進行資料清理、格式轉換、篩選、合併等前處理作業，以提升資料品質。

5. 完成資料導入

完成載入或轉換後，資料將顯示於右側「欄位(Fields)」窗格中。使用者可依據需求，進行資料關聯設定、建立視覺化圖表及設計報表內容。

有關可視化介面設計分為三部份說明。

(一)產量總覽



圖 23 產量總覽介面

1. 核心 KPI 指標區(紅框)

(1) 今日總產量 1363 件：顯示目前已完成的累計生產數量。

(2) 平均產量(每 15 分鐘平均)：反映每筆紀錄的平均產量，用以衡量生產穩定性。

(3) 最高單筆產量：顯示最高的單次產出，能找出高效時段或操作條件。

(4) 良率/不良率：快速呈現產品品質狀況(本圖為良率 99.3%、不良率 0.7%)。

2. 生產趨勢與品質占比(綠框)

(1) 產量趨勢圖：以時間為橫軸，生產數量為縱軸，呈現整日各時段產量變化，協助判斷產線效率波動及瓶頸時段。

(2) 不良品占比圓餅圖：視覺化顯示不良品比例，搭配良率數據強化品質監控。

3. 績效比較分析(藍框)

(1) 各班產量比較圖：分析不同班別的總生產量，作為排班與效率改善依據。

(2) 操作員產量比較圖：統計各操作人員的產量，有助於識別績優員工或培訓需求。

(二)異常分析



圖 24 異常分析介面

1. 異常總覽指標區(紅框)

(1) 異常總次數：今日累計出現 3 起異常事件。

(2) 異常總時間：80 分鐘，所有異常持續時間總和，能評估生產中斷程度。

(3) 平均每次異常時間：26.67 分鐘，評估每次維修所耗時間，反映維修效率。

(4) 異常產量損失：180 件，:顯示異常所造成的產出減少，有助於評估異常的實際影響。

2. 異常分類分析(橙框)

(1) 異常類型：分為運轉故障、感測器異常、軟體異常。有助於了解設備問題的主要來源。

(2) 異常持續分類：按異常時間長短分為三類 0-15 分、15-30 分、30 分以上可識別輕微與嚴重異常的占比。

3. 異常描述(黃框)

以描述文字，呈現最常見的異常類型，幫助聚焦改善。

4. 維修人員統計(綠框)

顯示不同維修人員處理異常的次數，有助安排人力與訓練需求。

5. 時間軸視覺化(紫框)

異常時段分析(橫軸圖)：呈現異常集中在哪些時間點，例如上午或下午頻率較高，利於預防性保養規劃。

6. 異常明細表(藍框)

表格作為異常事件的追蹤紀錄與回顧資料。

(三)設備效能



圖 25 設備效能介面

1. 關鍵績效指標(紅框)

(1) 良品數：表示今日合格產出總量，反映產線生產力。

(2) 不良品數：異常產出數量，為品質管理的重要依據。

(3) 能耗：229.60kWh，顯示目前生產所消耗的電力，用於評估能效。

(4) OEE：86.09%，表示整體設備綜合效率，包含可用性、效能與品質。

2. 生產與設備效能圖表(藍框)

(1) 生產趨勢圖：顯示每段時間的產量變化，有助於觀察產能穩定性與高低峰時段。

(2) OEE 趨勢圖：分析異常期間是否會影響生產效率。

(3) 各班別良品數比較：比較早班、中班、晚班的良品產出量，找出表現差異。

(4) 稼動率趨勢圖：顯示設備實際運轉時間的比例，有助於掌握停機與空轉情形。

(5) 能耗趨勢圖(kWh)：每段時間電力消耗情況，可作為節能分析基礎。

3. 設備運行狀態顯示(綠框)

(1) 狀態標示：目前為「停機」透過大字即時顯示設備狀態，有助快速回應與排除異常。

(2) 設備狀態與班別選擇：可勾選篩選「停機」、「運轉」與各班別，實現進階分析與比對。

5. 結論

本專題透過 Factory I/O 虛擬模擬軟體，結合西門子 PLC 與 Modbus TCP 通訊協定，驗證智慧輪框加工廠區的虛實整合可行性。模擬並實作上料、加工、分檢等自動化流程，並透過 Power BI 建立即時可視化儀表板，成功建構一套智慧化生產測試環境，執行成果：

1. 虛實整合驗證

以 Factory I/O 模擬三大製程單元，搭配 PLC 控制邏輯與 Modbus 通訊，實現感測器數據(如近接開關、視覺檢測)即時傳輸至系統，並透過 Power BI 儀表板監控生產狀態與流程運作。

2. 核心技術應用

(1) PLC 階梯圖程式設計：實現緊急停止、上料控制與機械手臂定位等功能。

(2) 視覺檢測與 AI 分類：於分檢區辨識輪框品質，驅動分流臂分揀良品與不良品。

(3) 遠端監控與數據分析：透過 Modbus Poll 驗證通訊穩定性，並視覺化生產數據以提升管理效率。

3. 系統效益評估

(1) 本系統相較傳統人工操作，能有效降低錯誤率並縮短設備調試時間，展現數位孿生(Digital Twin)應用潛力。

(2) Power BI 儀表板設計涵蓋「產量總覽」、「異常分析」與「設備效能」三大模組，整合感測器、製程參數與品質回饋數據，協助管理者做出更快速、有效的決策。

(3) 在資料處理層面，整合輸送設備的運行狀態、能耗數據等資訊，並可透過感測模組進行資料擷取，使用 Python 與 Excel 進行前處理與轉換後匯入 Power BI，建構資料模型與自動更新流程，具備高度實作參考價值。

本專題研究成果展現資料整合、視覺化設計與流程理解三者間的整合能力，使原本分散的資訊具系統性呈現，進一步導入數據驅動管理模式，提升生產效率與穩定性。

未來可進一步導入 IoT 實現即時資料串流，結合機器學習模型進行產能與異常預測。可擴展至雲端平台整合跨廠區資料，建立數位孿生模型以進行虛擬調試與製程優化。在資料庫方面，規劃建置如 MySQL 的結構化資料庫系統，穩定儲存生產數據並支援資料轉出與報表分析。另外，可進一步強化能源監控與排程優化，實現節能減碳與永續經營。整體而言，本研究為智慧製造奠定良好基礎，具備實際部署與持續發展潛力。

參考文獻

1. Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2018). Smart factory of Industry 4.0： Key technologies, application case, and challenges. IEEE Access, 6, 6505-6519.
2. Liu, S. H., Weng, D. and Wu, Y. C. (2021), A review on industrial data visual analytics, Journal of Integration Technology, 11(6), 3-19.
3. 口袋學堂(2024)，稼動率是什麼？如何從此數據看公司營運情況，https://www.pocket.tw/school/report/SCHOOL/4777/。
4. 宋慶宥(2023)，藉由震動數據分析生產設備即時動態之研究。
5. 吳昌育(2019)，智慧工廠模擬產線生產流程監控系統設計與實作，國立高雄大學碩士論文。
6. 陳本益(2023)，導入 MES 前之 SCADA 系統前置作業-以 F 公司為例，國立中興大學碩士論文。
7. 楊曜騰(2023)，工業物聯網在機台量測應用，國立雲林科技大學碩士論文。
8. 濬騰新技股份有限公司(2023)，稼動率這個數據在工廠能做什麼？，http://www.gtvision.com.tw/News_Detail.aspx?ID=83b5a3c2-dc30-4ebc-8eba-cccf95967f54&ID=83b5a3c2-dc30-4ebc-8eba-cccf95967f54。