

隊名：電力創新者  
隊員：林孟傑、李育賢

## 低成本單板實現以機器學習來預測熱變形

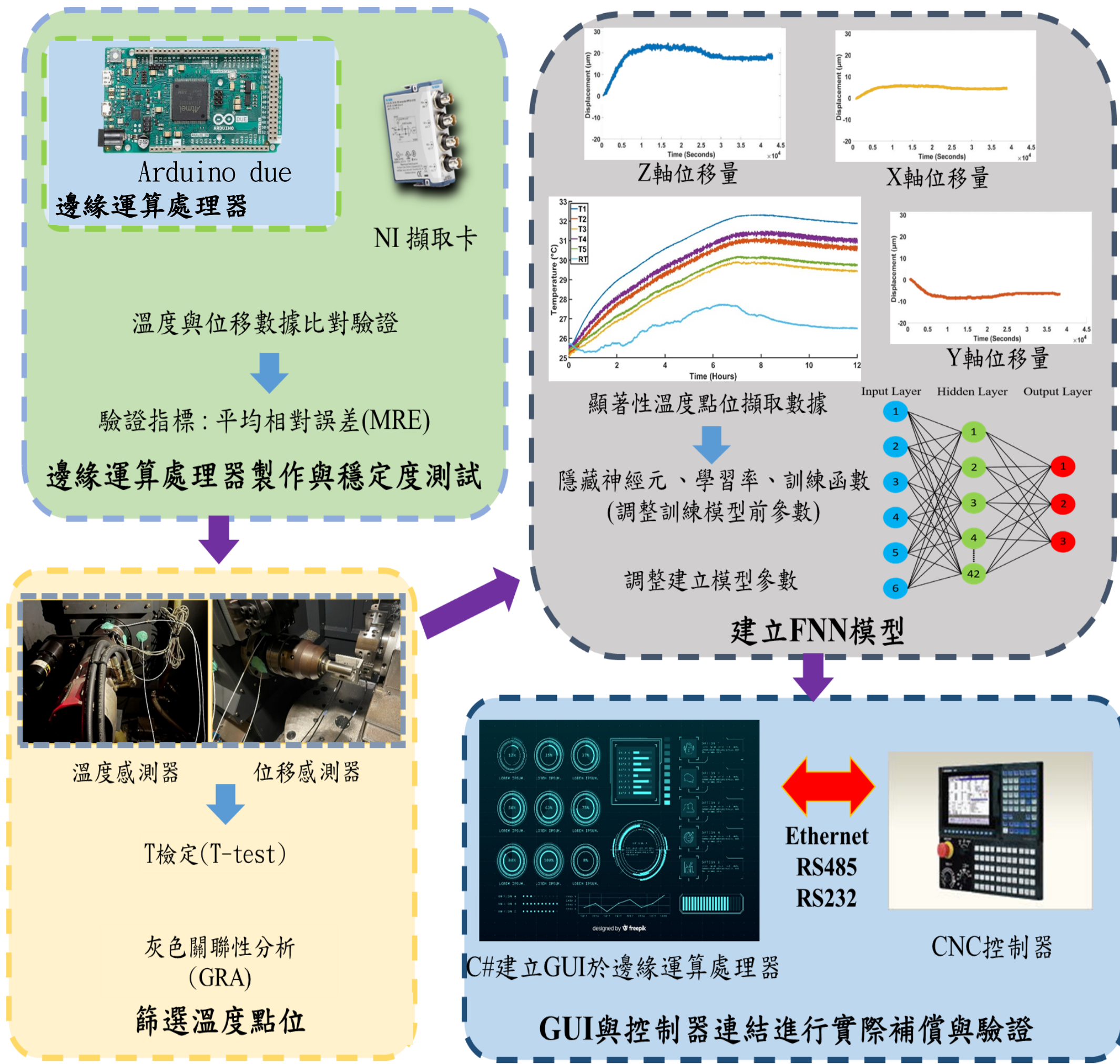
### Low-cost single-board implementation of machine learning to predict thermal deformation

#### 一.摘要

機械是工業的基石，台灣在精密零件加工和工具機製造方面已建立成熟供應鏈。隨著科技進步，傳統工廠正結合人工智慧物聯網 (AIoT) 邁向自動化。然而，AIoT計算需求巨大，導致應用效果不理想。因此，本計畫引入邊緣運算 (Edge Computing) 以提升效率和降低成本。本研究利用低成本單板技術實現機器學習模型，預測熱變形問題。熱變形是工程製造中的關鍵問題，傳統方法昂貴且測試繁多，限制了其應用範圍。我們應用T檢定與灰色關聯度分析確定關鍵溫度點，建立和分析模型，並導入邊緣運算處理器，結合圖形使用者介面 (GUI)，實現即時監控和三軸溫升熱位移量預測，補償熱誤差，達成低成本高精度的CNC智慧加工。

#### 二、設計概念與應用

本研究利用Arduino Due這款低成本單板計算機，建立邊緣運算處理器，用於構建溫升熱位移補償模型，以提升CNC工具機的加工精度並降低成本。透過NI擷取卡與邊緣運算處理器同步收集CNC車床的溫度與位移訊號，以平均相對誤差 (MRE) 作為驗證指標進行交叉驗證，再使用T檢定 (T-Test) 進行樣本統計分析確保準確性。接著，應用灰色關聯性分析 (GRA) 找出顯著性溫度點，優化溫度訊號收集。最終，借助電腦端建立前饋神經網路 (FNN) 模型，並將優化後的模型導入邊緣運算處理器執行。結合圖形使用者介面 (GUI) 系統，實現與CNC車床的即時溫升熱位移補償，如圖一所示，進一步提升加工效率和精度。



圖一:作品概念圖

#### 三、系統架構/關鍵技術

##### 1.擷取設備穩定性

本研究利用Arduino Due微控制板進行溫度與位移的數據擷取，並使用NI擷取卡作為驗證工具。實驗結果如圖二所示，兩設備獲得的溫度差異極小，平均相對誤差為0.4154%，證明此設備經設計後可提供可靠的溫度數據。本研究比較兩種擷取位移設備的性能，由於無法同時量測Z軸，實驗分為兩個階段進行。主軸待機，環境溫度穩定，熱偏移影響微乎其微。結果如圖二所示，兩設備所得資料差異不大，平均相對誤差為0.4073%，證明設計後的擷取設備具有高精度和穩定性。

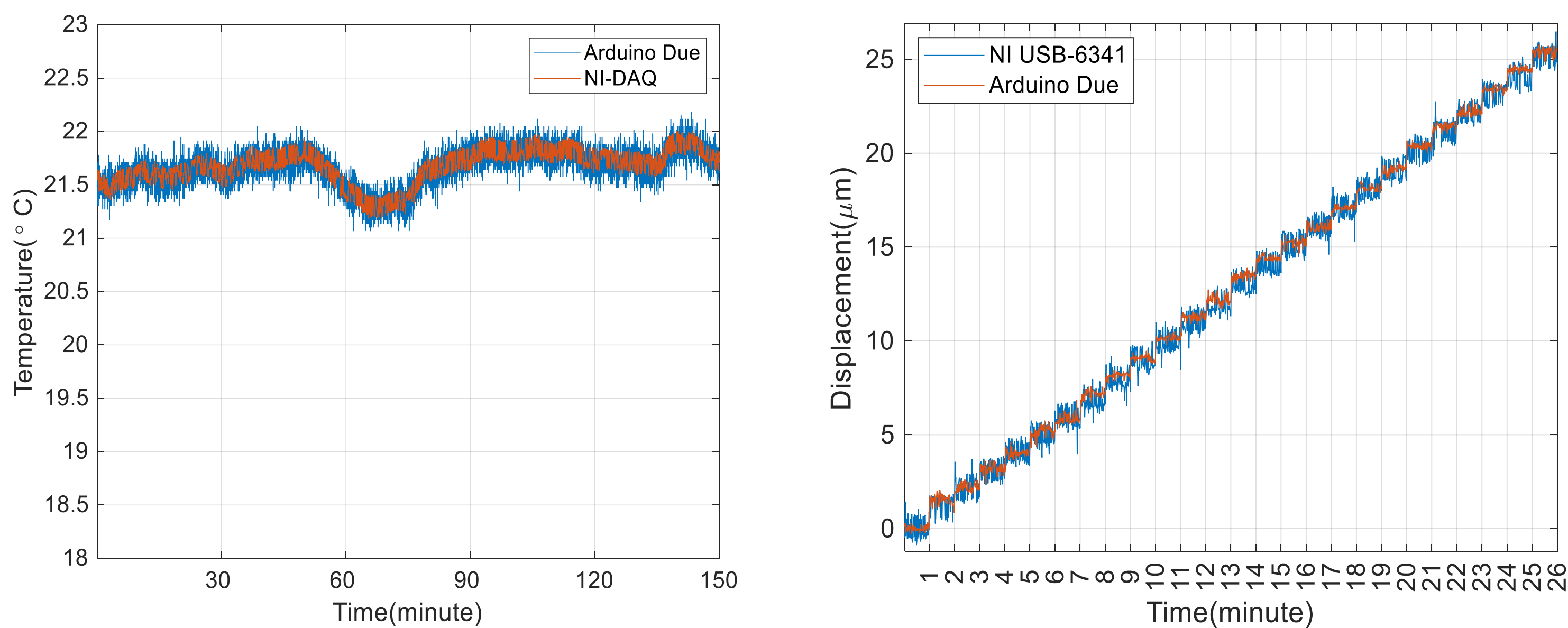
##### 2.關鍵點的選擇

###### a)T-檢定

為了確定溫度點的重要性，本研究採用了T-檢定 (T-Test)，使用8個PT1000型的溫度感測器，貼在機台主軸附近，以3000rpm的轉速蒐集4小時的溫度和位移資料。

###### b)灰色關聯度分析

使用GRA來析所有溫度點位與主軸各軸向對應的關鍵溫度點位。



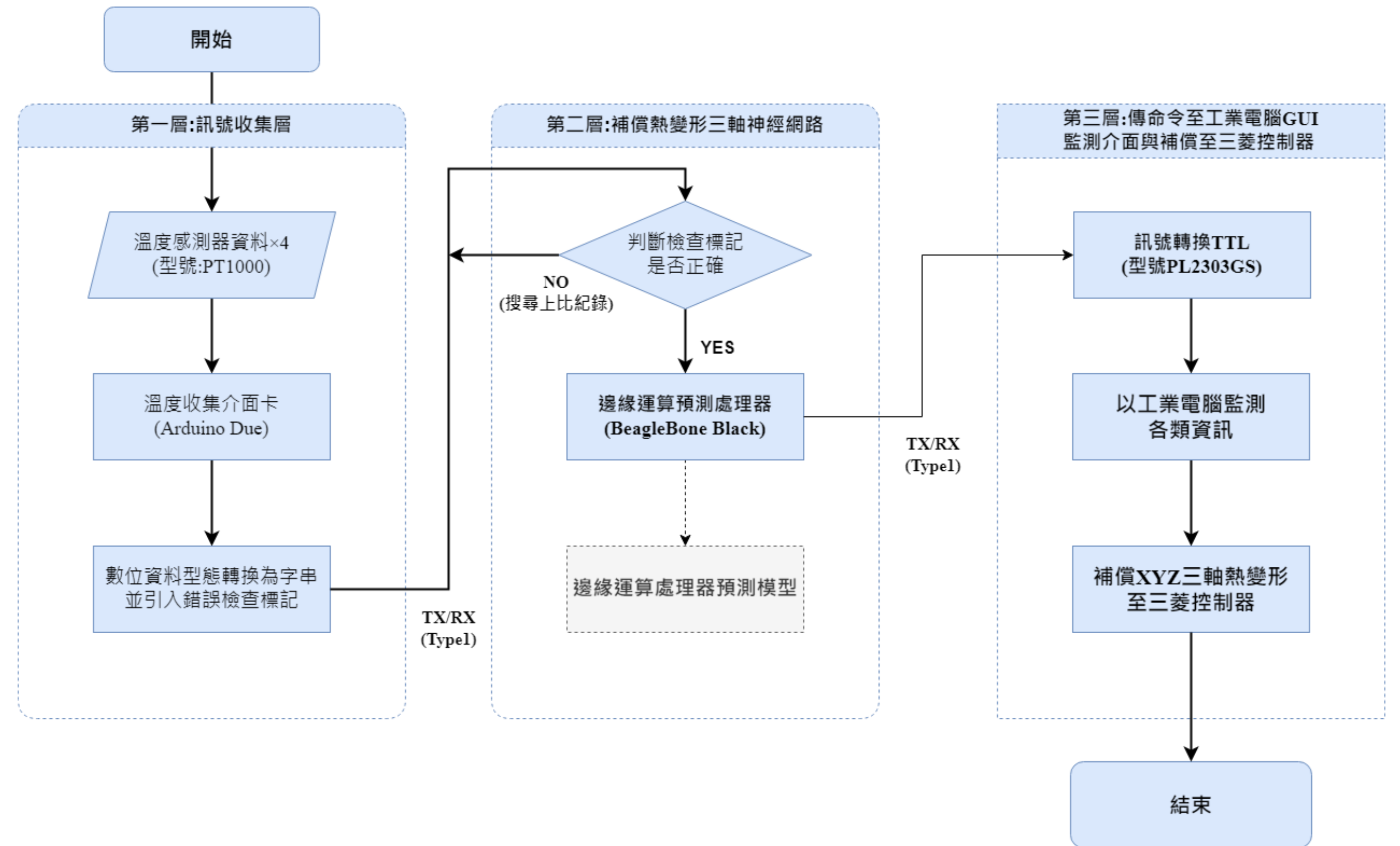
圖二：擷取設備穩定性驗證結果

#### 3.建立模型

將針對上一節主軸三個軸向所對應的關鍵溫度點，利用前饋式神經網路 (Feedforward Neural Network, FNN) 建立熱誤差預測模型。以下找出最佳參數實驗以Z軸為例，找出最佳參數的實驗結果。而FNN三種訓練方法最佳模型比較，訓練方法則是以trainlm、trainbr、trainscg三種訓練方式並分析最佳的訓練方式。

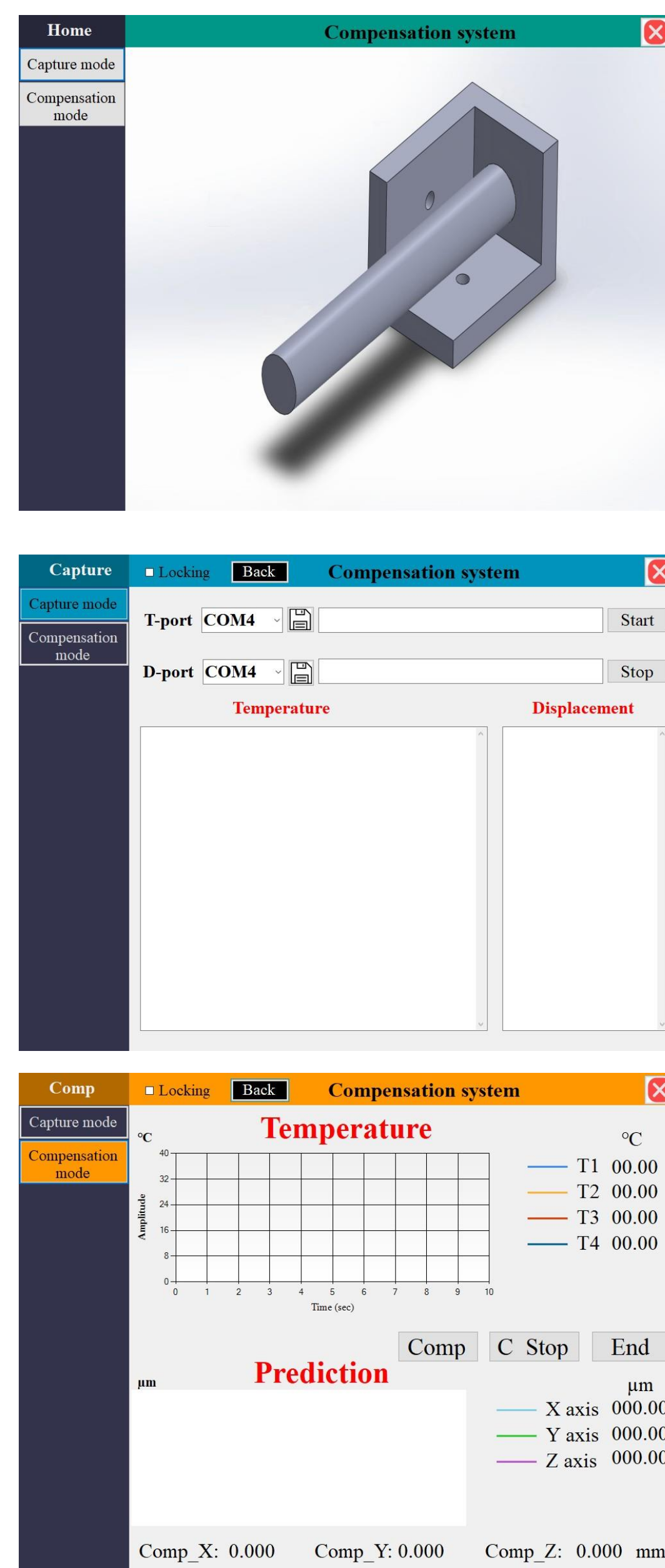
#### 4.邊緣運算系統

圖三展示了一個三層邊緣運算系統，其中第一層負責訊號收集與傳輸，第二層進行熱變形補償運算，第三層將結果傳送至工業電腦並控制三軸補償。



圖三:邊緣運算流程圖

#### 5.GUI介面設計



##### 介面1:

首頁按下Capture mode的按鈕後會切換至資料擷取的頁面，則按下Compensation mode的按鈕後會切換至補償的頁面。

##### 介面2:

打開Capture mode的頁面會先進行選擇設備COM port名稱隨後選擇檔案路徑且上面為溫度，下面為位移。檔案路徑顯示於旁區塊，確認沒問題後即可開始，開始時會顯示10個溫度值及3軸向位移值，左側為溫度，右側為位移。

##### 介面3:

打開Compensation mode的頁面將溫度值與預測位移值以圖表與當下數值的方式做顯示，左側為折線圖，右側為數值。按鈕Comp為開始執行補償，並將預測位移值寫入控制器，C\_Stop為停止補償，並停止寫入控制器，End為停止所有功能，包含溫度擷取、及所有圖表顯示。將主軸當前的座標以數值的方式做顯示，以確保補償功能有正確運作。

#### 四.結論

本研究利用邊緣運算處理器計算熱變形誤差，通過GUI實現CNC機台的即時監控和三軸熱變形即時補償。使用統計檢驗和灰色關聯度分析篩選出關鍵溫度點，將溫度點位從8個減少到2個，提高了熱補償模型的預測準確度。本作品使用單晶片搭配數位和類比轉換模組，取代昂貴的感測器擷取卡，顯著降低了製作成本，對傳統工具機產業具有重要意義。未來目標是取代市場上常見的擷取設備和熱補償系統，實現低成本高精度的CNC智慧加工。