

轉動設備狀態監測資料分析系統

Data Analysis System for Condition Monitoring of Rotating Equipment

摘要：

國內各種場域廣泛應用的轉動設備，不論是馬達、泵浦、空壓機、壓縮機、減速機或是鼓風機皆為不可或缺的關鍵設備，當轉動設備出現故障，會導致生產暫停及成本經濟損失。轉動設備的運轉通常伴隨著振動，可藉由操作人員觀察振動的大小來判別設備的運轉狀態，由於每位操作人員的經驗與判定方法都不相同，會造成判定上的落差及疏忽。為了避免設備失效而衝擊廠辦運作及生產，本研究建立馬達故障的專家規則判斷故障類型，以及趨勢分析觀察馬達的實際運轉狀態來分析，用以提高異常診斷的正確性。

關鍵字：監測系統、設備健康、資料探勘、馬達診斷

Abstract

Rotating equipment widely used in industrial fields, whether it is motors, pumps, air compressors, compressors, reducers or blowers are the key equipment indispensable in the factory. When the factory equipment fails, it will lead to production suspension and huge Economic loss. The operation of rotating equipment is often accompanied by vibration. The operating state of the equipment can usually be determined by the operator observing the magnitude of the vibration signal. Because each operator's experience and judgment methods are different, it will cause discrepancies in judgment and negligence. In order to prevent equipment failure from impacting factory operations and production, this study establishes expert rules for motor failure to determine the type of failure, and analyzes the actual operating state of the motor by trend analysis to improve the accuracy of the abnormal diagnosis.

Keywords : Monitoring systems, Equipment health, Data Mining, Motor diagnostics

一、前言

隨著科技的進步，系統自動化使動力設備在產業中扮演不可或缺的角色。動力設備是廠辦製程中不可或缺的動力來源，因此設備長期處在高壓、高溫、高負載狀態下若發生無預警的停機將造成龐大的經濟損失。維修工作採用定期維修的方式雖然能夠減少無預警停機的發生，但也消耗了大量人力與物力資源的浪費。因此，若能得知動力設備即時的運轉狀態與故障可能原因，提早使維修人員進行機台維護與故障排除，有助於提升系統運轉可靠度。

預知保養是一種保養的思維架構在狀態保養上，配合生產製程條件建立可預測異常失效的模型，預先警示並規劃修正行為；藉由資料的分析偵測設備初期異常降低故障所導致的額外能耗並提升維護效率，依據美國能源局操作與維護最佳實施(U.S. Department of Energy, “Operations and Maintenance Best Practices”)所述可節能約 5%~20%。而國內大學亦針對感應馬達異常對能耗損失的影響執行實測研究，其中研究顯示轉子斷條異常的馬達相對於健康狀態的馬達能耗上升 4%、對心故障馬達對於健康馬達的能耗上升 2%、軸承損壞的馬達相對於健康馬達其能耗上升約 0.22%，依據這些文獻所提供的資訊顯示異常故障的馬達相對於健康狀態的馬達耗能。

國內在推行系統自動化的過程中馬達扮演著舉足輕重的角色，並且廣泛地應用於各種產業。國內學界亦致力於研究馬達異常診斷的方法，其中更有一篇研究感應馬達異常對能源耗損之影響[1]提及感應馬達所驅動之轉動設備，在設備有異常狀況下將產生更多的振動與溫升，或許導致設備運轉時需要消耗更多的能量。[2]提出以頻譜、頻瀑及軸心軌跡圖分析的方式，並利用人為圖形判別以及貼近度診斷的方法來進行故障的判定。[3]提出利用機器學習的方法將軸承訊號進行分析得到特徵向量，再以 SVM 的方法對滾珠軸承的故障進行識別。[4]以加速度感測器收集異常軸承的振動資料並透過傅立葉的頻譜分析以及小波轉換露的時頻圖做為減速機運轉狀態的判讀。[5]探討旋轉機械故障模式，建立振動監控診斷系統並且利用傅立葉轉換，對量測訊號進行特徵擷取，找出不同倍頻振動特徵，分析正常信號與故障信號之差異，建立故障信號特徵及故障類型診斷方法。本研究開資料探勘技術技術是採用相對判斷標準，將設備正常運轉實所測得的加速度感測器幅值定為初始值，對同一部位進行測定與比較數值的差異再建立故障專家法則進行故障類型的判斷，於設備發生異常的初期完成故障分析並降

低維修成本的浪費，其系統架構圖如圖 1 所示。

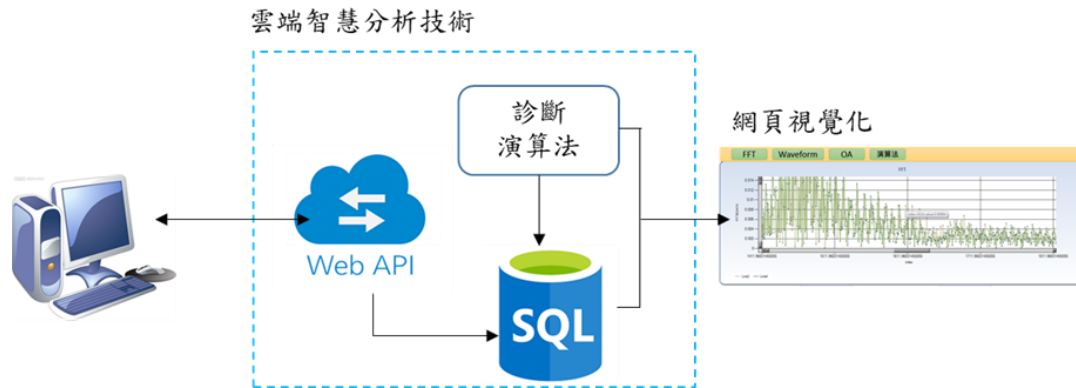


圖 1、系統架構圖

二、 研究方法

本研究所開發的狀態檢知演算法分成趨勢分析檢知演算法與專家法則診斷二種演算法，詳細說明如下：

(1) 趨勢分析檢知演算法：

狀態監測是在設備運轉中對特定的特徵信號進行檢測、變化、紀錄、分析處理，是對設備進行故障診斷的基礎工作。檢測的信號主要是設備在運轉中的各種信號(例如：振動、噪音、轉速、溫度、壓力、流量等)對設備進行狀態的監測與下一步的診斷工作。

時間序列是指依照事件發生的前後順序排列所得的一系列數值，時域分析方法則根據所研究的系統(待診斷設備)的運轉數據(振動、溫度、壓力、流量等)建立數學模型，用這個模型來分析數據變化的規律，進而產生這些數據的系統狀態與特性。趨勢分析採用的是相對判斷標準，將設備正常運轉實所測得的值定為初始值，對同一部位進行測定與比較數值的差異。趨勢分析的流程圖如圖 2 所示。

本研究所開發的趨勢分析檢知演算法是於動力設備上裝置加速規，收集加速規在時域訊號上所產生的最大幅值並將其加速度最大幅值存於資料庫中。當加速規的加速度最大幅值累計達一定筆數即可統計出資料的平均數與標準差並藉由經驗法則算出資料的三倍標準差範圍作為正常運轉的加速度最大幅值界限，藉此三倍標準差範圍診斷設備即時比對加速度最大幅值是否若於此範圍內並以區間法則與允差比例前置管制法(PTPCC)，監測設備目前運轉狀態。

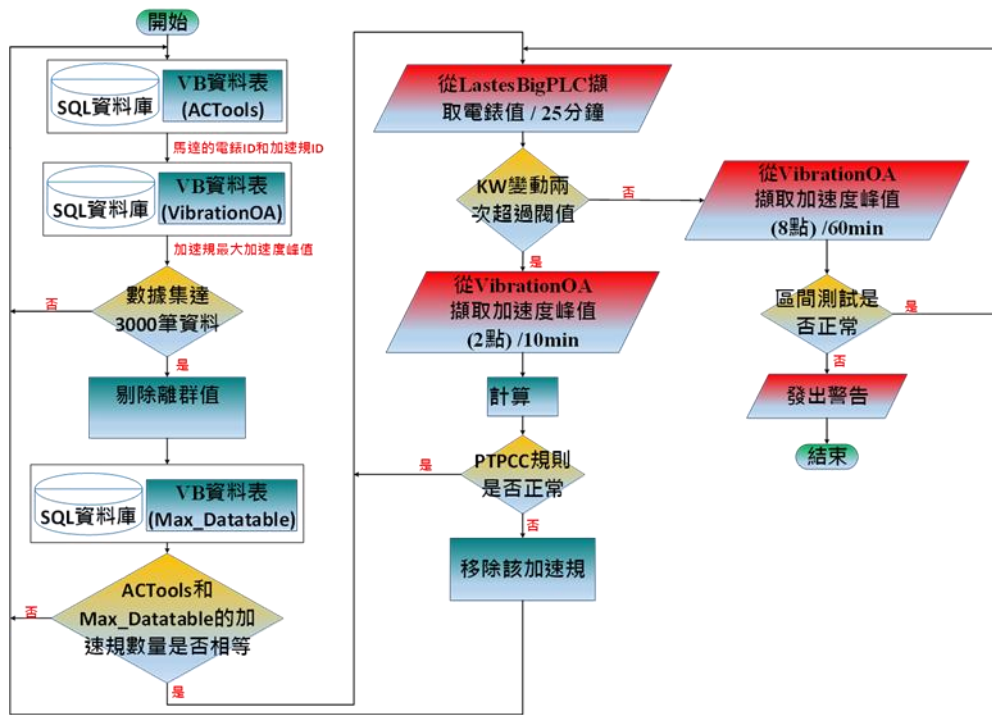


圖 2、趨勢分析流程圖

一 區間法則

品質管制是用來用來監視品質特性之量測值隨時間變化之情形。管制圖為 SPC 中最被廣泛使用之線上流程監控的工具，其功能可用於尋找可歸屬原因、預防不必要之流程調整以及可用於估計流程參數，決定流程能力及提供有用之流程相關資訊。典型之管制圖包含一條中心線 (centerline, 簡稱 CL)，用來代表當製程處於統計管制內時品質特性之平均數。此圖同時包含兩條水平線，稱為上管制界限 (upper control limit, 簡稱 UCL) 及下管制界限 (lower control limit, 簡稱 LCL)，如圖 3。若有一點(或數點)超出管制界限或點呈現非隨機變化，則要診斷是否是由可歸屬原因所造成，若是，則在診斷出其原因後，則可將此數據點剔除，並重新計算管制界限，再分析製程是否在管制界限內。若都在管制界限內，此試用管制圖方可用以管制未來製程。區間法則是為了判斷監測數據落在管制界線內的情形如圖 4，其說明如表 1。

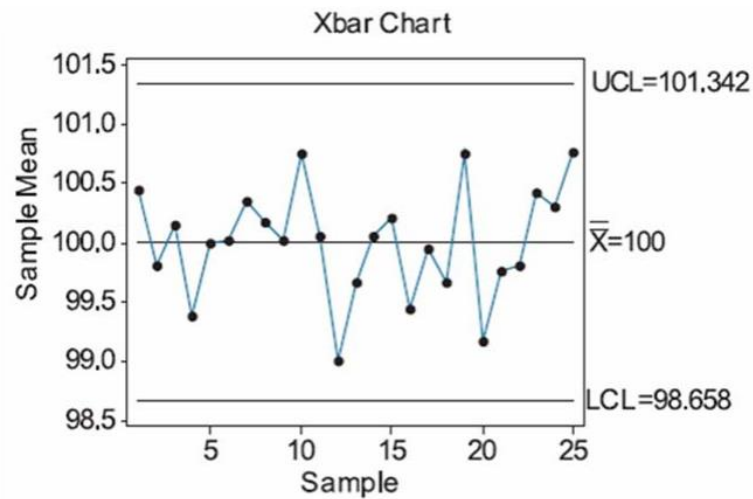


圖 3、品質管制示意圖

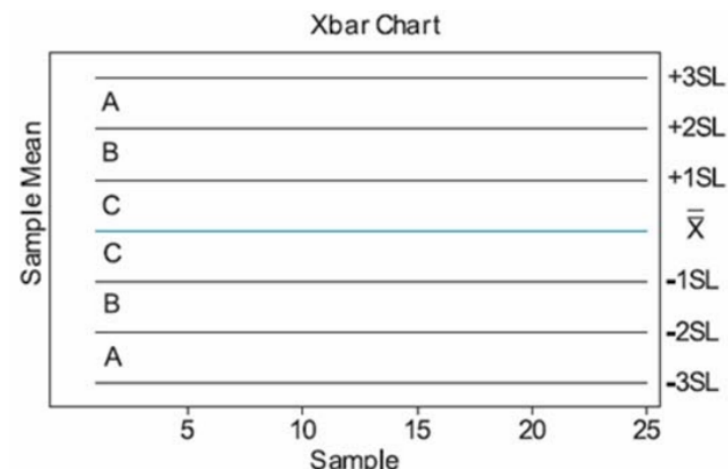


圖 4、區間法則管制圖

表 1、區間法則判斷標準

一點落在 A 區以外 (超出管制界限), 代表異常
連續三點中有二點落在 A 區或 A 區以外, 代表異常
連續五點中有四點落在 B 區或 B 區以外, 代表異常
連續八點在中心線之同一側(連續上升或下降), 代表異常

- 允差比例前置管制法

允差前置比例管制法 (percent tolerance precontrol chart, PTPCC) 由 Vermani(2000)所提出, 此法主要是先計算出允差比例並搭配前置轉至圖的概念來監控流程, 其計算公式(1)如下:

$$x^* = \frac{x - \text{目標值}}{\frac{(USL - LSL)}{2}} \quad (1)$$

其中，分子部分表示觀測值與目標值之離差；分母部份表示 1/2 規格寬度。因此 x^* 表示觀測值與目標值之離差占用一半規格寬度之比例，當 x^* 為正值表示觀測值大於目標物；反之，當 x^* 為負值表示觀測值小於目標值。使用 PTPCC 會連續抽取二個樣本進行檢驗並判斷落於管制圖的區間，其允差比例前置管制圖如圖 5，判定標準如表 2。本研究藉由允差前置比例管制法來斷定加速度最大幅值界限是否需要重新計算，經允差前置比例管制法所顯示的決策為”停止量產”表示設備的觀察值變化劇烈，需要重新計算加速度最大幅值的平均值與標準差；反之則不需重新計算。

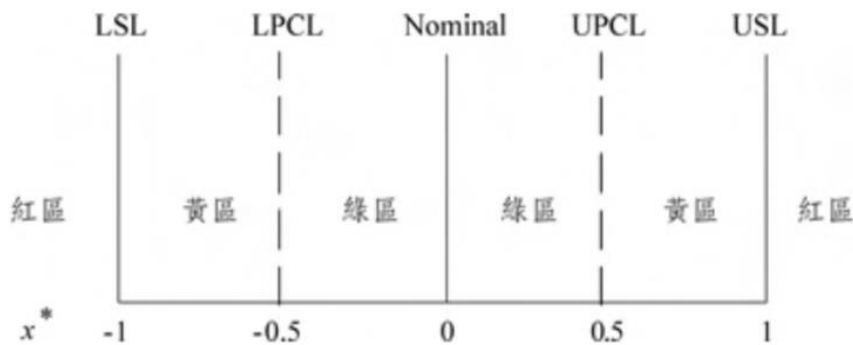


圖 5、允差比例前置管制圖

表 2、允差比例前置管制法判斷標準

狀況	有一樣本落於紅區		兩樣本落於不同黃區		兩樣本落於同一黃區		兩樣本均落於綠區		一樣本落於綠區，另一樣本落於黃區		
紅區	A										
黃區			A	B		AB				A	B
綠區							AB	A	B	B	A
黃區			B	A	AB			B	A		
紅區		A									
決策	停止量產	停止量產	停止量產	停止量產	停止量產	停止量產	量產	量產	量產	量產	量產

(2) 專家法則

專家系統是一種”基於知識”的人工智能診斷系統，其實質是應用大量人類專家的知識和推理方法求解複雜的實際問題。設備故障診斷專家系統是將人類在設備故障診斷方面的多位專家的知識、經驗、推理、技能綜合後編制成的計算程序，可用於分析解決只能用語言描述或思維推理的複雜問題。

- 信號頻域分析

頻譜分析的目的是把複雜的時間波形經傅立葉轉換分解成若干個單一的諧波分量來研究，用以獲得信號的頻率結構以及各諧波的幅值以及項為訊息。

- 專家法則

設備發生的故障原因不同其反映出的振動訊號也不同，根據這些特有的故障特徵訊號可以對設備進行診斷。本研究針對馬達常見的轉子不平衡、對心故障以及軸承故障等三種故障類型依據其特徵頻率結合每個故障與特徵之間的關聯程度建立專家法則，如表 3 所示。

表 3、馬達故障特徵頻率

故障類型	振動主要特徵特徵
轉子不平衡	1X
轉子不對心	1X and 2X (2X 明顯較高)
軸承故障	1X and 2X and 極高頻率

三、 案例說明

(1) 異常故障鑑別模組

本研究是將趨勢分析檢知演算法結合專家法則檢知演算法整合成動力設備的狀態檢知演算模組，線上即時監控動力設備的運轉狀態，流程圖如圖 6 所示。

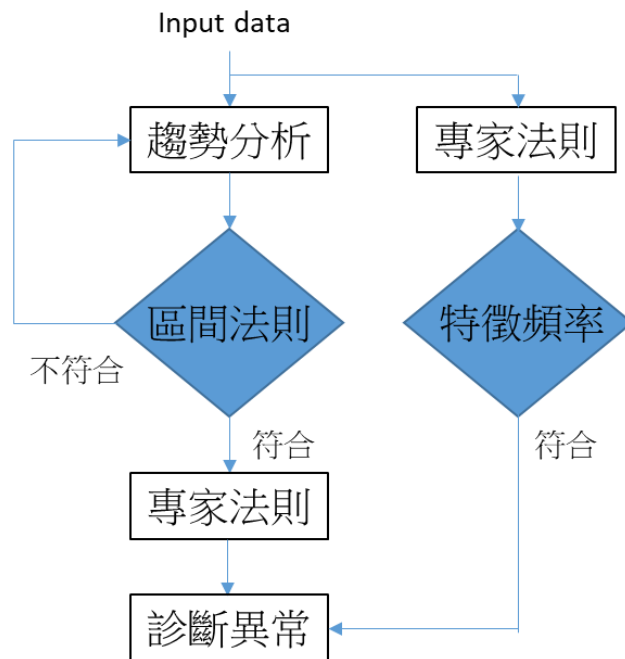


圖 6、狀態檢知演算模組流程圖

(2) 實驗平台架設

馬達故障有許多類型，其中最常見的四種故障包含轉子不平衡、對心故障、軸承故障、轉子斷條。動力設備檢測平台分成二種型式：第一種是以振動檢測法來診斷轉子不平衡、對心故障以及軸承故障，所採用的檢測平台為 PBS-5000 迴轉機轉子擾動系統如圖 7 所示，裝置 4 顆振動感知器 (100mv/g) 以 4-20mA 輸出的振動訊號處理器接收振動訊號。

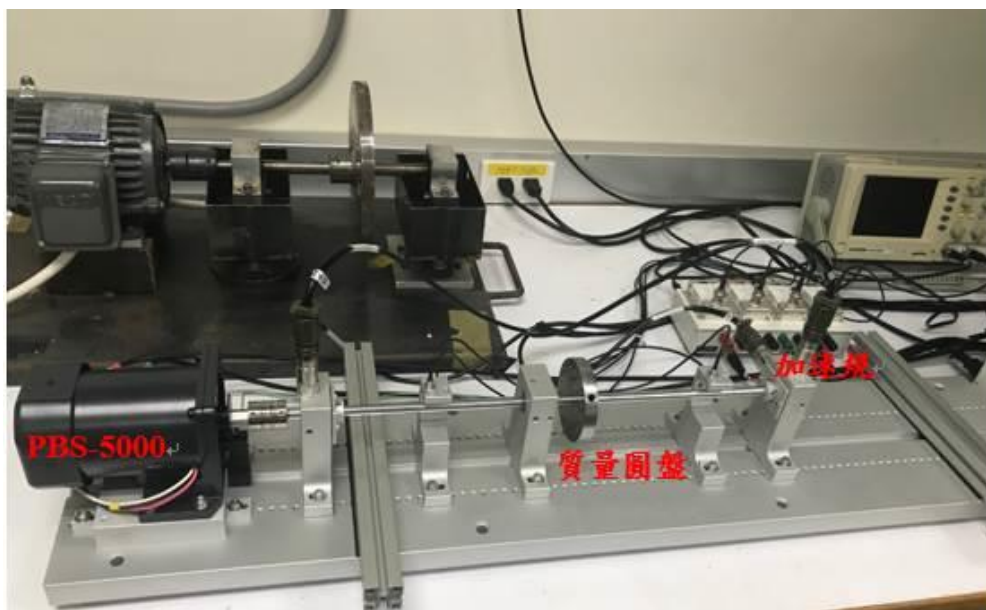


圖 7、機械故障類型測試平台

(3) 平台資料通訊測試

本平台資料通訊功能是使用 window socket 標準介面與 VimoNet 振動資料擷取模組溝通，透過它收集頻譜資料與時間波形資料，頻譜資料點數將依據擷取頻寬決定。如頻寬 1K 為 801 點、2K 為 1601 點、10K 為 3201 點，本研究以 10K 3201 點進行測試；時間波形則以欲擷取的時間決定數量，通訊測試以一次收集 4097 點進行設定，通訊測試軟體畫面如圖 8。測試步驟如圖 9，每次為新增裝置、進行連線、要求裝置將資料開始回傳、收集頻譜資料與時間波型資料、停止資料回傳、裝置斷線，最後移除裝置，重複上述步驟共 1,440 次，結果整理如表 4。

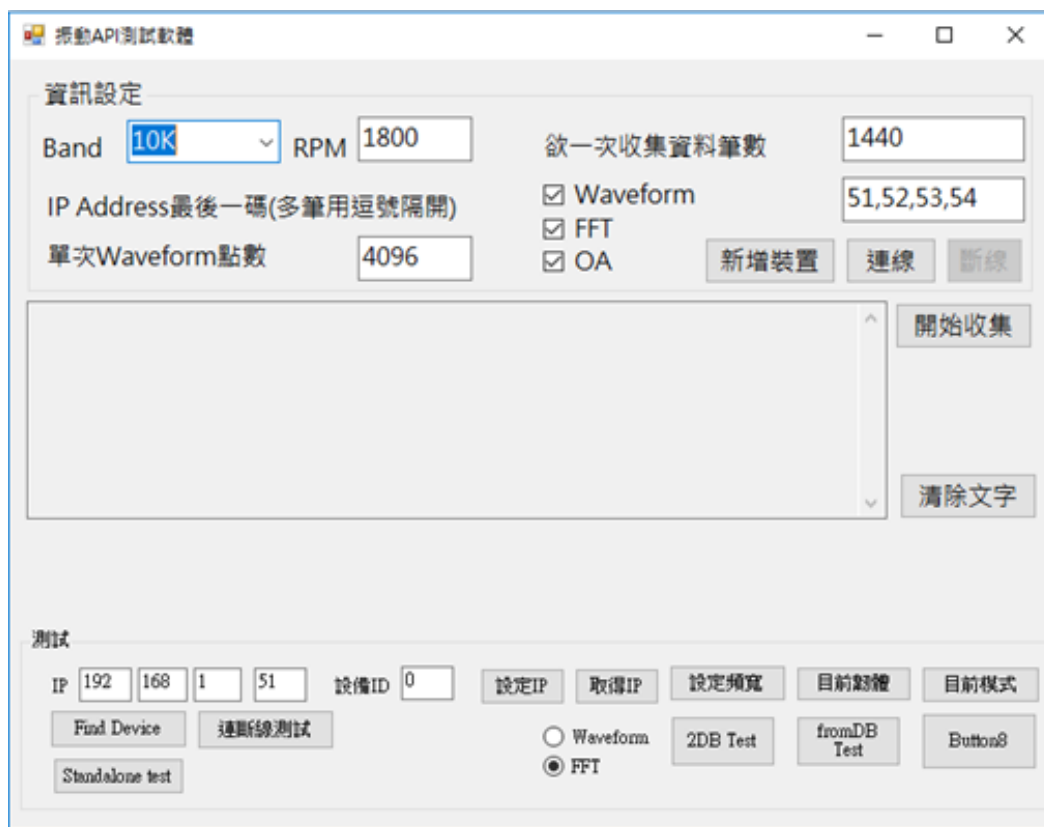


圖 8、動力設備檢測平台通訊測試軟體

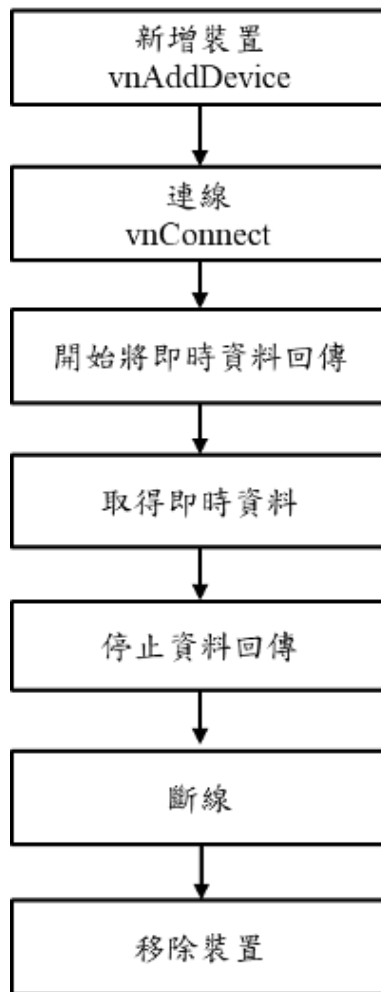


圖 9、動力設備檢測平台資料通訊流程

表 4、動力設備檢測平台通訊測試結果

資料型態	資料筆數	要求封包數	平均接收封包數	通訊正確率
頻譜	1440	3201	3201	100%
時間波形	1440	4097	4097	100%

(4) 故障樣品組裝與說明

馬達故障類型依據不同的故障型式以人為加工的方式製作缺陷異常的工件，再將缺陷異常工件組裝於動力設備檢測平台上，製作出馬達最常見的轉子不平衡、對心故障以及軸承故障等三種特定故障類型以供異常診斷分析。

(5) 實驗結果

本研究所開發的異常故障鑑別模組依據實驗平台所做的數據檢測，其診斷正確率達 89%，如表 5 所示。

表 5、異常故障鑑別模組診斷結果

	轉子不平衡	對心故障	軸承故障	綜合型故障
實驗次數	5	5	5	4
正確診斷次數	5	5	5	2

四、 結論

本研究利用資料探勘技術應用於轉動設備的運轉狀態監測，在驗證的馬達系統適當位置裝設加速度感測器並收集其運轉狀態的加速度幅值，累計一定筆數的加速度幅值後計算加速度幅值的標準差與平均值。以相對標準檢驗的方式將正常運轉狀態的加速度幅值作為初始值，觀察動力設備的加速度幅值趨勢與初始值的差異變化，當加速度幅值的趨勢符合區間法則表示動力設備已逐漸偏離正常運轉狀態即進入專家法則診斷。另一方面，完成將加速度值經傅立葉轉換將信號分解為頻率的簡諧分量，建立故障特徵頻率專家法則。當機器設備發生故障引起頻率的變化藉由專家法則協助提供可能故障的類型。

五、 參考文獻

- [1] 鄭鈞元，結合統計製程管制技術之智慧型馬達旋轉故障診斷系統研製，碩士，國立台北科技大學，台北市，2009。
- [2] 彭善謙，綜合振動信號於馬達故障診斷，碩士，中原大學，桃園市，2004
- [3] 陳怡婷，基於人工魚群演算法之 SVM 參數最佳化於滾珠軸承的故障診斷，國立台北科技大學，台北市，2018
- [4] 鄭允睿，應用時頻轉換振動訊號分析於軸承異常監視之研究，國立中興大學，台中市，2015
- [5] 蔡有藤，振動量測診斷系統的發展，德霖科技大學，新北市，2010