

隊名：機聲尋蹤者
參賽者：施濟坤、陳家祥

應用機器學習於加工聲音訊號辨識

摘要

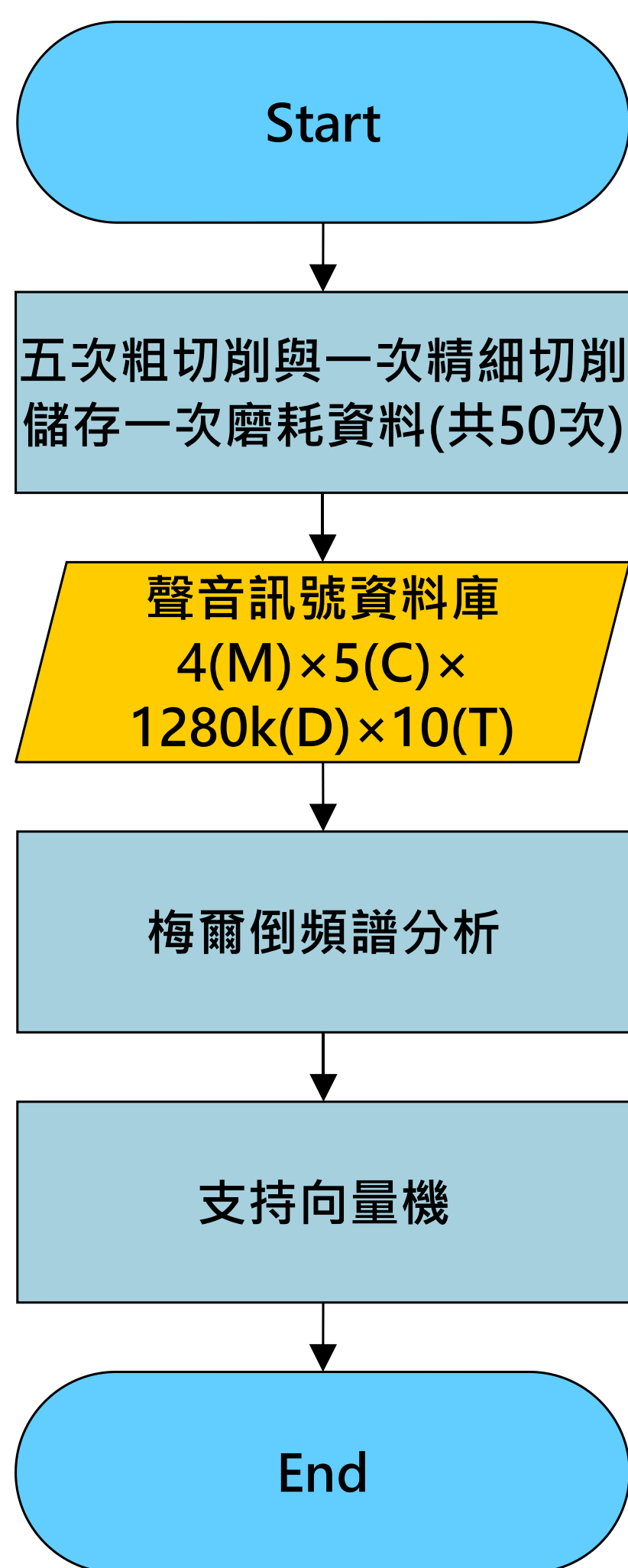
機械製造是工業的支柱，特別在精密零件和工具機加工方面已建立成熟供應鏈。然而，隨著科技進步，精密零件要求日益嚴苛，工具機加工穩定性變得至關重要。CNC加工中的刀具磨耗問題受到關注，因為刀具磨損會導致斷刀，而斷刀可能損壞工件和機台。探討CNC車床刀具磨耗的智慧檢測技術。我們在機台內部安裝聲音感測器，捕捉加工時的聲音訊號，收集刀具在不同磨耗階段的聲音資料。並透過梅爾倒頻譜係數 (MFCC) 生成特徵向量，最後應用機器學習建立刀具磨耗訊號的辨識系統。

研究方法與步驟

相關參數設定

本實驗使用四支麥克風搭配訊號擷取模組來收集數控車床在加工時的刀具磨耗訊號。將對6061鋁製圓棒進行加工，先進行粗切削五次後再進行精細切削並擷取聲音訊號。共進行五組實驗，每一組包含十支材料，每一組代表一個磨耗等級。而收音的取樣頻率為51.2K Hz，在收音過程中會先錄製環境音五秒後再按下機台的執行鈕，直到機台運轉結束，為一個完整的收音過程，共25秒。實驗流程如右圖所示。實驗的加工參數如下圖所示。

等級	總切削次數	加工參數	粗切削	精切削
A	0-60	主軸轉速 (rpm)	2000	2500
B	61-220	切削深度 (mm)	0.5	0.2
C	221-440	進給率 (mm/rev)	2	1
D	441-500	切削速度 (m/min)	200	250
E	501-660			
	661-720			
	721-880			
	881-940			



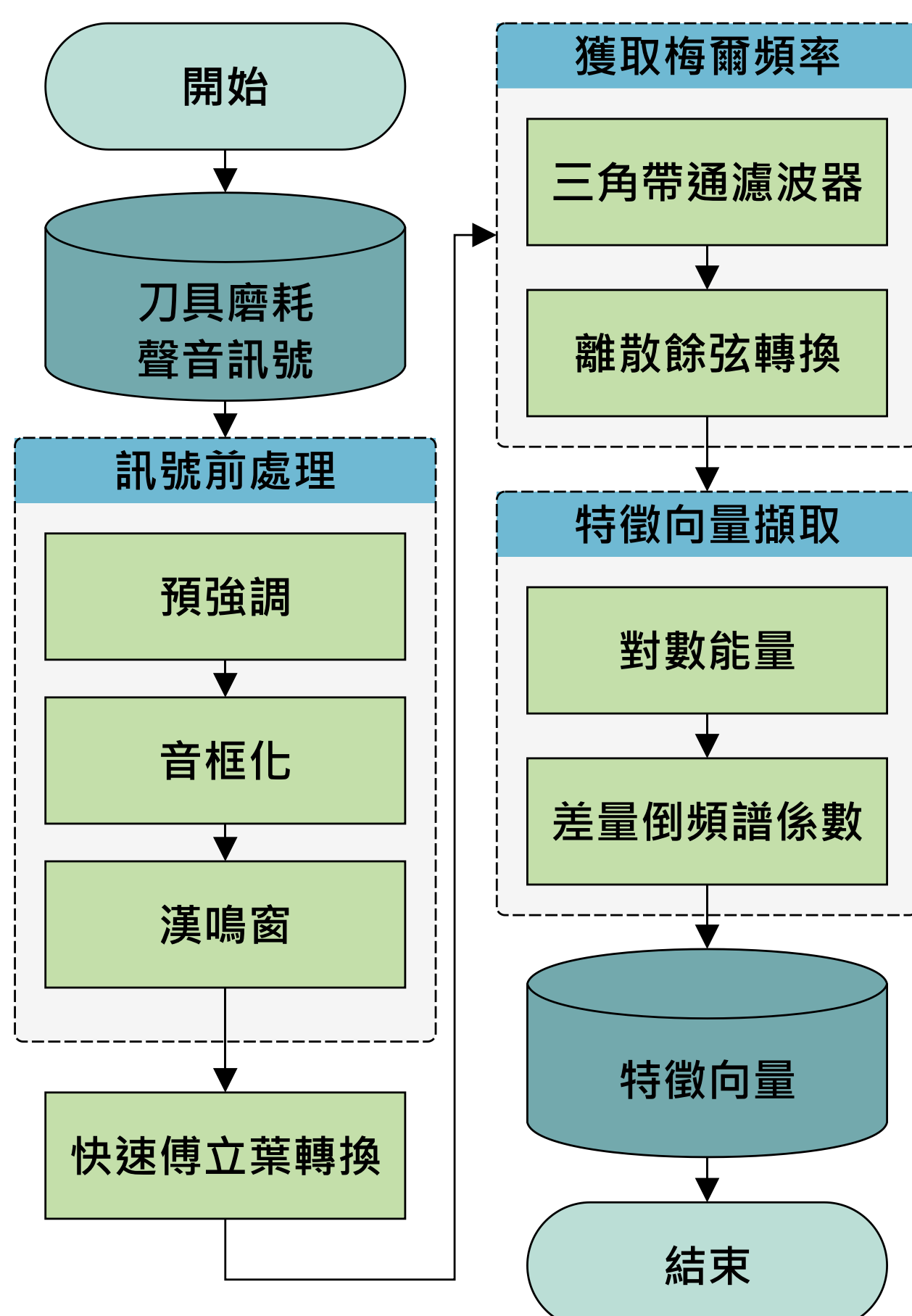
特徵擷取

梅爾倒頻譜係數 (MFCC)

在進行模型訓練前還需要經過特徵擷取，不同種類的聲音皆不同，藉由訊號間的差異。透過MFCC來代表短期音訊的頻譜，取出聲音的特徵作為分辨的依據。

如右圖所示，特徵擷取過程包括以下步驟：

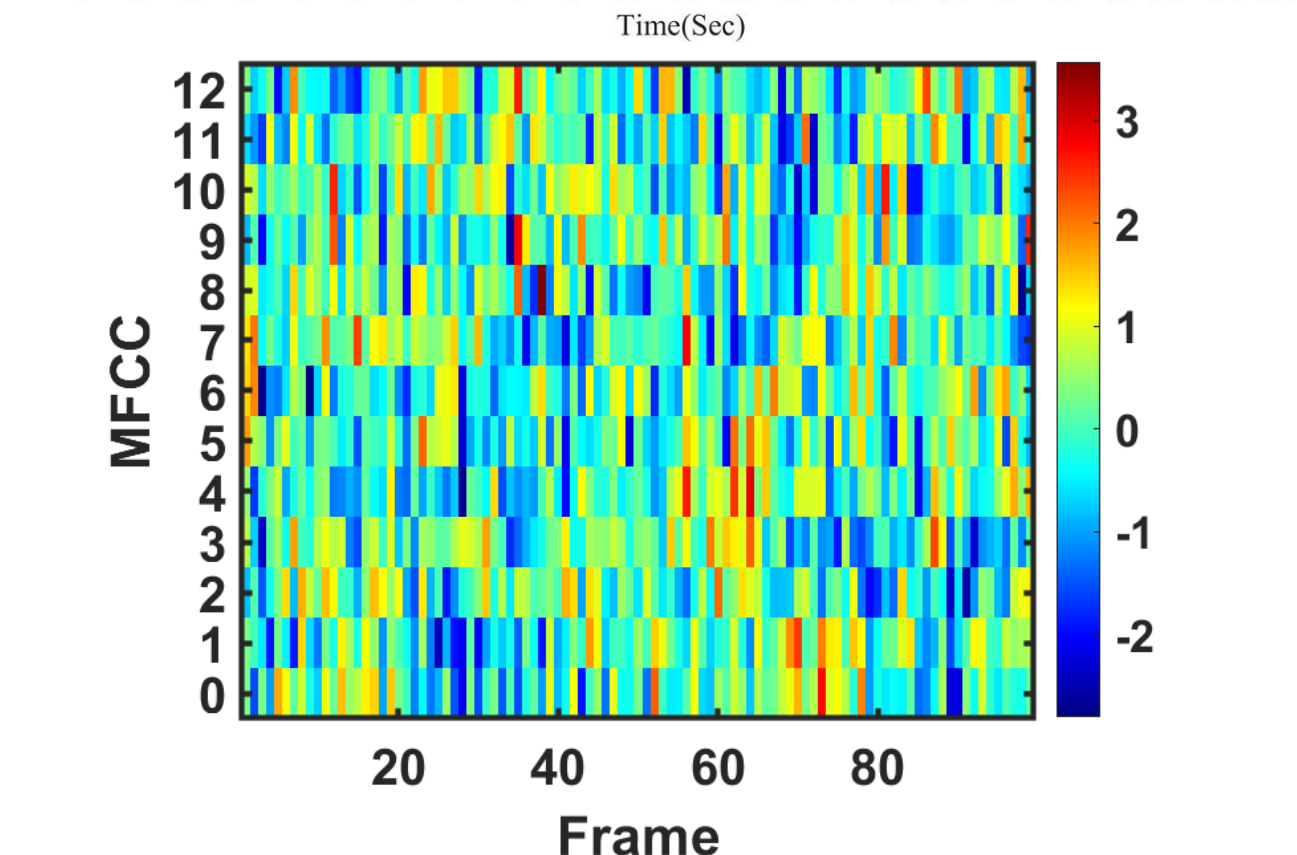
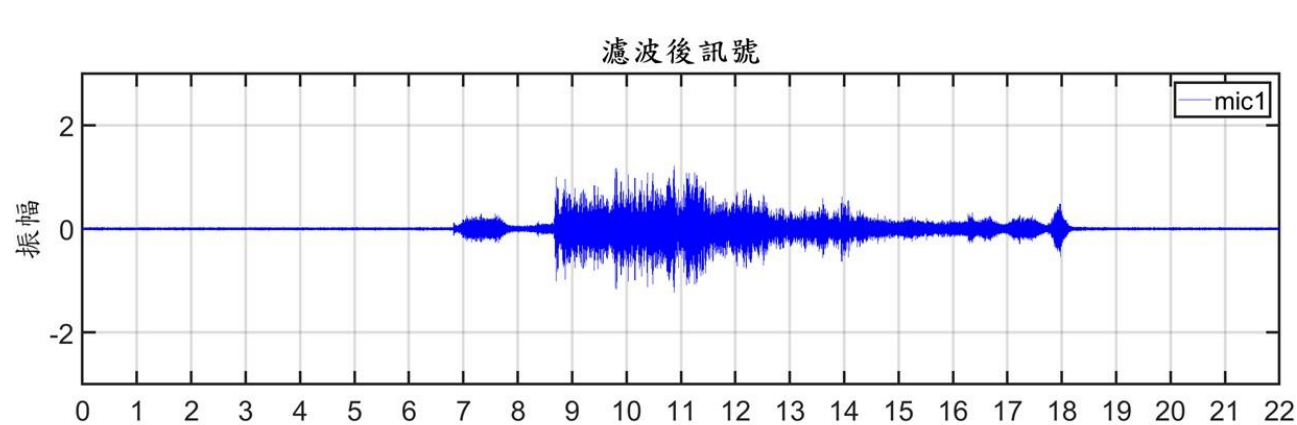
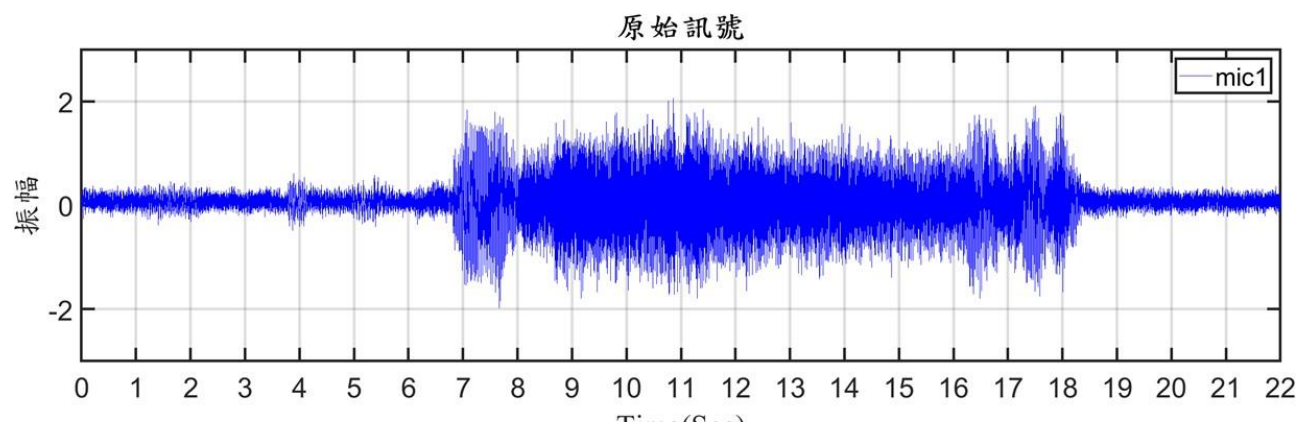
- 訊號前處理**：對刀具磨耗聲音訊號進行預強調、音框化和漢明窗處理，然後進行快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform, FFT)。
- 獲取梅爾頻率**：通過三角帶通濾波器和離散餘弦轉換 (Discrete Cosine Transform, DCT) 來獲取梅爾頻率。
- 特徵向量擷取**：計算對數能量和差量倒頻譜係數，將其作為特徵向量。



左圖展示了刀具磨耗聲音訊號的處理過程及其特徵提取後繪製結果。

- 上半部分**：顯示了原始聲音訊號的波形，從時間軸上可以看到整個聲音訊號的振幅變化，經過濾波處理後的聲音訊號，濾波後的訊號更為清晰，去除了雜訊，使得主要特徵更加明顯。

- 下半部分**：展示了經過MFCC (梅爾倒頻譜係數) 處理後的特徵圖。圖中不同顏色表示不同的頻率成分，縱軸代表MFCC係數，橫軸代表不同的時間框。最後將13維度特徵進行均方根代表一段聲音訊號特徵。

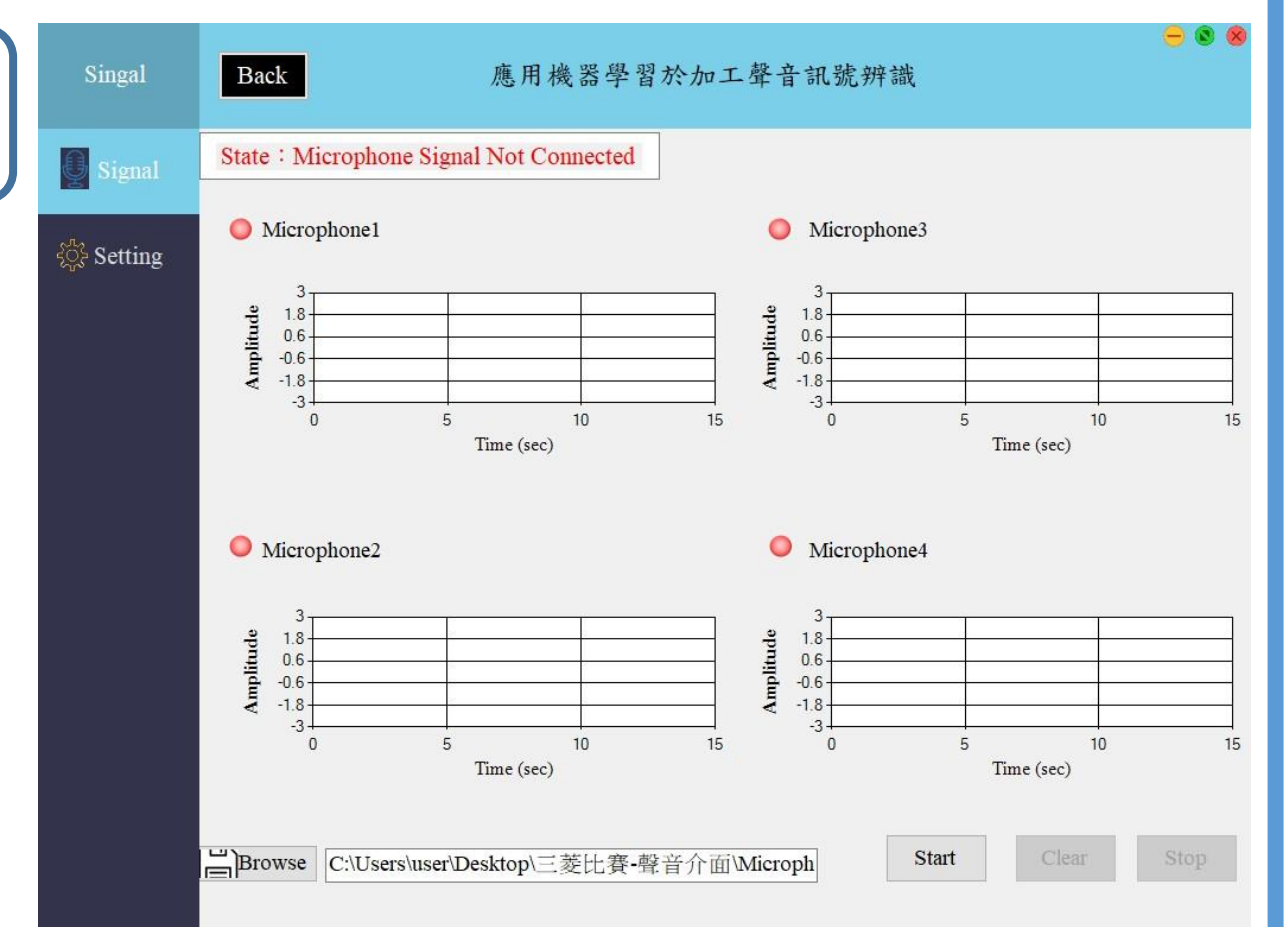


使用者介面

介面顯示

Menu顯示四支麥克風架設位置，可進行畫面切換Signal與Setting。

- Signal頁面**(右上圖)：顯示四支麥克風所接收到聲音訊號，並可以選擇檔案路徑，並顯示目前狀態燈號。
- Setting頁面**(右下圖)：提供使用者進行機台相關設定包括轉速、切削深度、進給率與切削行程，同時顯示所使用的刀具與工件材質。



結果分析

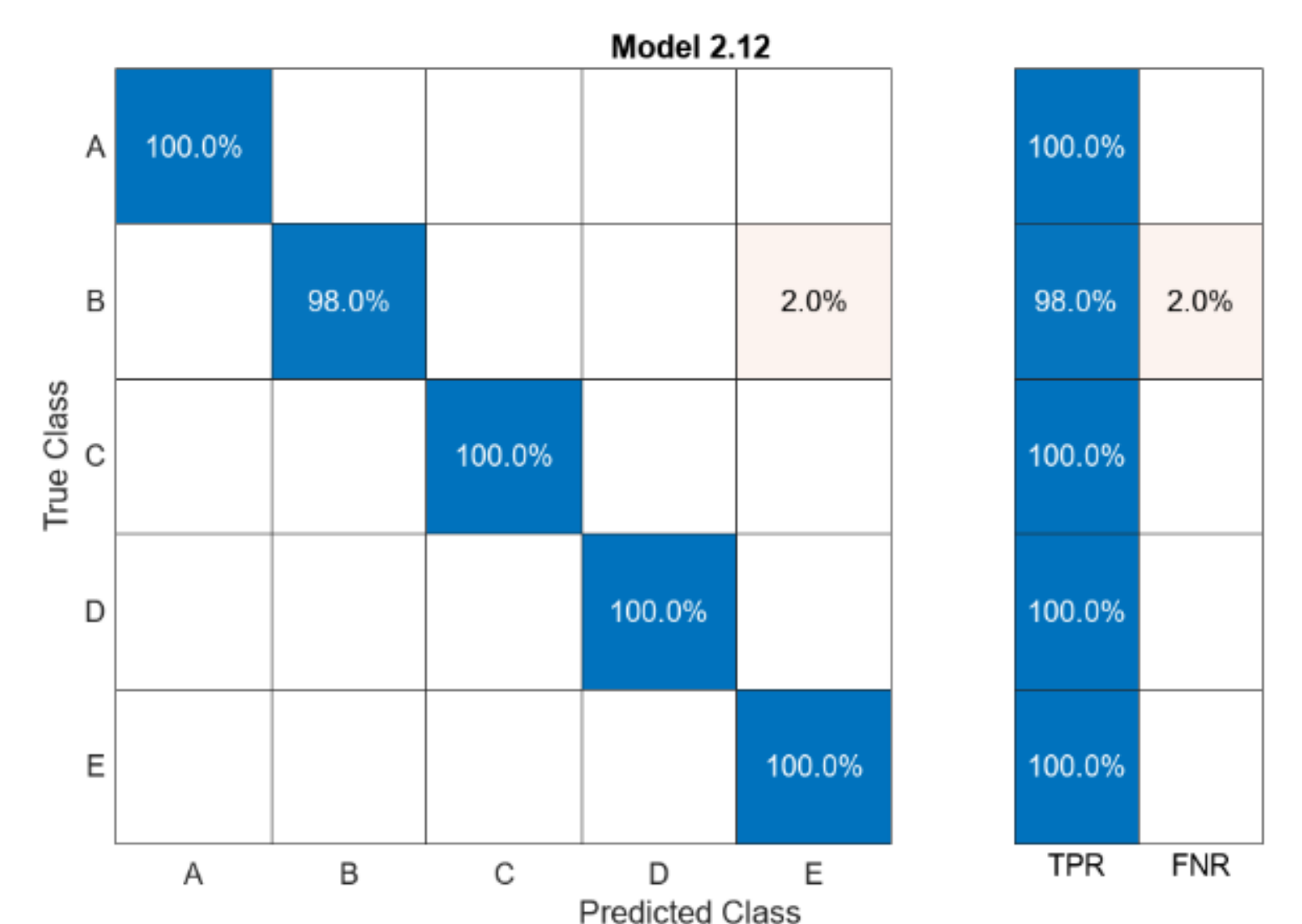
模型訓練設定

- 隨機選擇80%的特徵資料進行訓練：在機器學習中，隨機資料拆分有助於減少模型對特定數據集的過度擬合。
- 保留剩餘的20%用於驗證：這些資料不用於訓練，而是用於評估模型對新資料的預測能力。有助於檢查模型的泛化能力。
- 進行十重交叉驗證：這是一種常見的驗證技術，將資料分為十個部分，每次使用九個部分進行訓練，一部分用於測試。有助於最大限度地減少模型評估中的偏差。

分類結果

為了評估每個分類器在測試時的效果，本研究使用機器學習中常見的二元分類器混淆矩陣 (Confusion Matrix)。通過比較預測結果與實際情況的差別，來評估分類器的準確性和可靠性。

在聲音辨識方面，針對不同磨耗情況，利用SVM進行辨識。從右圖可以觀察到，支持向量機在不同磨耗情況下的辨識效果極為出色，達到了99.6%的辨識度，顯示了其在刀具磨耗訊號辨識中的高效性和準確性。



SVM混淆矩陣(99.6%)

結論

- 本實驗主要目的是開發一個自動化刀具磨耗訊號辨識系統，利用梅爾倒頻譜係數 (MFCC) 產生的特徵向量，並結合機器學習演算法進行分析。透過這個系統，可以準確地辨識刀具的磨耗狀況，從而在工業生產環境中提前檢測刀具狀態，避免因刀具磨耗而引起的生產問題。
- 實驗結果顯示，該系統對於不同磨耗等級的辨識度達到95%以上，能夠完整且準確地辨識出聲音的磨耗等級，效果十分顯著，顯示出其在實際應用中的巨大潛力。