

出國報告(出國類別:進修)

美國匹茲堡大學機械工程系碩士班 進修

服務機關:空軍航空科技研究發展中心

姓名職稱:研究發展官 許凱勛

派赴國家/地區:美國賓州

出國期間:111年8月15日至113年7月16日

報告日期:113年10月1日

摘要

航發中心於 111 年派赴學員至美國進行碩士班進修，此報告紀錄所屬研發科許凱勛上尉(受訓時位階為中尉)派訓至美國匹茲堡大學為期兩年的國外進修，透過這次國外進修計畫，期待培育日後科技人才。

美國匹茲堡大學位於賓夕法尼亞州，於 US News & World Report 中世界大學排名名列前五，專精於醫學、生物科學、科學及工程研究，成為美國著名之公立大學。進修期間須先行尋找指導教授，並於每週與指導教授開會，向教授報告研究進度，最後階段為提交研究論文及口試。

職就讀機械工程系研究所，從事機器學習研究及動態控制系統，研究主題為運用機器學習演算法進行車床刀片生命週期分析。此研究旨在學習「機器學習演算法」之應用，同時可以更精確得知車床刀片工作壽命到期時間，如過早更換車床刀片，則無法將其工作時數發揮最大效用，如超過工作壽命才更換，製造商則可能花費非常大量經費，因產品尺寸誤差值將超標，需重新進行車床加工，因此精確地推算出生命週期有其必要性。

目錄

壹、	目的.....	1
貳、	學習歷程(過程).....	2
參、	心得及建議	6
一、	語言能力強化:.....	6
二、	課程學習技巧:.....	6
三、	實作研究培養:.....	6
四、	軍事領域應用:.....	7
	(一) 後勤機械製程:.....	7
	(二) 自動飛行與導航:.....	7
	(三) 目標識別與威脅偵測:	8

圖目錄

圖 1 論文辯論會照片	5
圖 2 獲得畢業證書照片	5

壹、 目的

Computational Numerical Control (CNC)車床刀片生命週期分析是一個相當重要的研究議題，當車床刀片過度磨損，仍然在使用時，此情況會降低產品生產效率，同時降低產品生產品質，進而提高製造商生產成本，有時，正在切割體積非常龐大的材料，亦或是價格非常昂貴的材料，因車床刀片過度使用導致材料需要丟棄或重新切割，將產生巨額損失。另一方面，當車床刀片仍處於良好狀態時，卻將其更換，在此情況未充分利用此刀片，製造商則需要更多的車床刀片來執行相同材料切割量。

以往更換車床刀片仰賴富有經驗的機械工程師，聆聽刀片切割時的音頻做判斷，或是依照該型號刀片的使用時數為依據，如超過使用時數時則更換，將會影響工件品質，製造容差超出範圍，然而，上述兩種方法皆無法精確地得知更換車床刀片的時機，因此使用人工智慧運算法來預估，可以立即得知刀片磨損情況，如磨損多少微米，可從磨損數值來決定是否更換車床刀片。

職前往學術風氣盛行的美國匹茲堡大學之工程學院，從事機器學習演算法和動態控制系統研究，專注於車床刀片之生命週期分析和演算法應用，希望透過此研習強化專題作業能力與專業知識學習，藉由此研究學習人工智慧演算法的應用，未來可將此概念推展至航空領域。

貳、學習歷程(過程)

- 一、於 111 年 8 至 12 月間與多位教授聯繫，討論教授研究領域及研究專題，並詢問教授收納實驗室學生之意願。
- 二、於 111 年 12 月確認指導教授，與指導教授討論研究方向，而後訂定研究專題為運用機器學習於車床刀片磨損分析。
- 三、於 112 年 1 月接受實驗室相關訓練，如實驗室安全訓練、實驗室化學溶劑使用訓練等；與指導教授共同擬定研究計畫，包含執行工項與計畫時程表。
- 四、於 112 年 1 月至 113 年 3 月間每週定期與指導教授開會，討論研究進度。完成 3D 列印感測器固定器、感測器安裝於 CNC 機器、772 組車床切割實驗、90 組數據與影像處理及機器學習演算法訓練。
- 五、於 113 年 3 月繳交碩士論文(Thesis paper)、於 113 年 3 月 27 日通過論文辯論(Thesis defense)(圖 1)及 113 年 7 月 14 日取得學位證書(圖 2)。

這份論文主要探討如何利用機器學習技術，開發一個智能刀具狀態監控系統(Tool Condition Monitoring, 以下簡稱 TCM)，以預測銑削操作中的刀片磨損。在現代製造業中，過度磨損的刀片可能導致加工表面品質不佳，增加成本，甚至對工件和機器造成潛在的損害，這項研究的目標是提出一種方法，可以接近即時或即時地監控和評估刀片磨損，從而允許及時更換刀具，避免機器停機時間。

研究架構分為數據獲取、特徵提取、影像處理、機器學習模型及性能評估，說明如後:

一、數據獲取:

此 TCM 系統蒐集多個感測器數據，並將感測器安裝於 CNC 銑床上，感測器數據包

含震動數據、聲音數據及刀片磨損圖像；使用三軸加速計記錄加工過程中的震動，這些震動與刀具磨損有關，隨著刀片磨損的進展，震動訊號會發生變化；在機器上安裝麥克風錄製聲音數據，捕捉銑削過程中產生的聲音，不同的磨損程度會產生不同的聲音模式；單眼顯微鏡安裝於機器內，來拍攝刀片的圖像，圖像在加工過程的不同階段拍攝，經過分析來測量刀片在關鍵位置的磨損情況，提供磨損的直接視覺評估。

二、特徵提取:

從感測器獲取的初步數據經過處理和分析，提取時域和頻域中的統計特徵，這些特徵包括震動和聲音訊號的平均值、最大值、偏度和峰度等，這些訊號特徵反映了刀片磨損隨時間的變化模式。

三、影像處理:

從多組的切削實驗中獲得數量非常多的刀片影像，因此需要一個系統化的方法來處理影像，將不同階段磨損的刀片影像與全新未使用的刀片影像做校準至水平，並將其重疊，並以顏色顯示磨損狀況，最後利用圖片解析度將刀片磨損量化，以用於機器學習回饋數據。

四、機器學習模型:

這份研究採用支持向量機(Support Vector Machine, 以下簡稱 SVM)回歸模型來預測刀片磨損，從感測器數據中提取的統計特徵作為輸入矩陣，SVM 模型根據歷史數據做訓練學習，將這些特徵矩陣映射至相對應的刀片磨損值，SVM 模型能夠穩健地處理回歸問題，以及建模輸入特徵與刀具磨損間之非線性關係的能力，通過應用徑向基底函數(Radial Basis Function, RBF)，SVM 模型能夠提高其在預測刀片磨損時的靈活性和準確性。

五、性能評估:

TCM 系統的性能透過均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)來評估，該指標用於衡量模型預測的刀片磨損與通過刀片圖像觀察實際磨損之間的差異，在銑削過程中需要連續進行預測，而該 TCM 系統的結果顯示在不同的切削條件下準確地預測刀片磨損，有些 CNC 機器無法追蹤刀片過去切削次數，沒有該數據的 SVM 模型，則較無法精準地預測刀片磨損情形。

六、研究成效：

這項研究的主要貢獻在於將感測器數據與機器學習演算法相結合，建立了一個可靠且高效的刀片磨損監控系統，並展示一個半自動化系統，透過結合聲音、震動和影像數據，運用 SVM 的模型，可以成功地預測銑削操作中的刀片磨損，這些預測可以用來幫助做出何時更換或重新調整刀具的明智決策。未來的研究可以納入更多的切削條件和使用更多的感測器來提高系統的準確性。

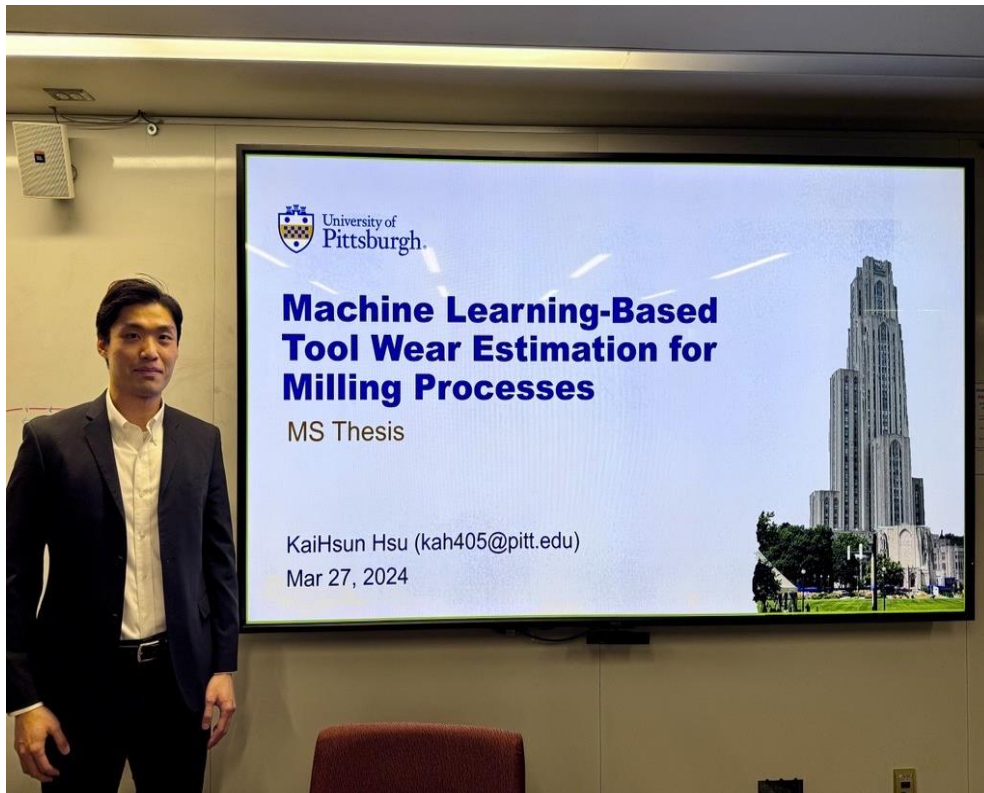


圖 1 論文辯論會照片



圖 2 獲得畢業證書照片

參、心得及建議

一、語言能力強化:

美國進修的語言條件為英文托福考試(TOEFL)，分為聽、說、讀、寫四大項目，由於我國學生學習英語較偏重聽與讀方面，練習口說的機會少之又少，因此不管是口說測驗或是跟外國人溝通皆較弱勢，因此鼓勵大家可以勇於用英文表達，也把握跟外國人交流機會，職初到美國時，也需要習慣說英文的環境，用英語的思維練習表達，而且美國是個文化大熔爐的地方，充滿世界各地的人，必須適應各國人的口音及教授的口音，才能聽懂並回應。

二、課程學習技巧:

美國的碩士班有 30 個學分要求，上課的堂數雖然不多，但是每一堂課都非常紮實，功課需要花很多時間主動尋找資源與專業知識，且每堂課的期末報告都是小專題，直接將課堂所學應用在專題上，透過期末報告的練習，學生更能靈活運用所學知識。職雖然是工程背景，但到美國時才接觸機器學習演算法的概念，對我來說，也是非常新穎的知識，當時感到頗大壓力，建議出國進修的學員能提前搜尋錄取學校的研究領域及相關課程，並主動尋求各式資源學習。

三、實作研究培養:

美國多所名校研究所訓練扎實，注重專題研究領域及成果，學生可從實作中學到許多寶貴經驗，如將理論應用到實務上、解決研究問題的能力等經驗。相比中科院，同屬研究單位，航發中心研發科人員鮮少許多，建議能爭取經費就航空領域及本軍需求進行研究，並同時能提高研發人員待遇，以留取專業人才；並規劃每年產出相關成果報告或

航空實物，增強科員實作能力與專業知識，提升研發能量及凸顯本中心之重要性。

四、軍事領域應用:

基於機器學習的刀片磨損監控系統能在多個軍事應用中提供重要的幫助，軍事裝備的製造與維護要求高度的可靠性、精度與效率，尤其是飛機、艦艇、車輛、武器系統等關鍵裝備的加工與維修，採用這種先進的刀片狀態監控系統(TCM)可以提升操作效率，減少維護成本，並增強總體任務的準備狀態。

(一) 後勤機械製程:

在軍事應用中，精密零件的製造至關重要，例如飛機零件、導航系統和先進彈藥組件等，確保用於製造過程中的切削工具處於最佳狀態，對於生產符合嚴格公差和精確規範的零件非常重要；運用機器學習的刀片監控系統可以在加工過程中預測刀片磨損，確保在適當的時間更換或維修刀片，從而避免由於刀片磨損導致的次品零件生產，這有助於提高關鍵零件的可靠性和安全性。

(二) 自動飛行與導航:

機器學習在軍用航空器中的應用潛力巨大，涵蓋自動導航、目標識別、以及預測性維護等各方面。在自動飛行與導航方面，機器學習能為無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)和其他軍用飛機提供自動飛行能力，透過使用大量飛行數據訓練機器學習模型，這些系統能夠學習如何在複雜的環境中導航、識別威脅並做出即時決策，例如卷積神經網絡(Convolutional Neural Network, CNN)等深度學習模型可以處理來自雷達或機上攝影機的即時傳感器數據，從而檢測障礙物或其他飛機，調整飛行路徑，避免碰撞。

(三) 目標識別與威脅偵測:

機器學習演算法已經在軍用航空器的目標識別系統中發揮了重要作用，採用機器學習演算法的視覺技術，航空載具能在低能見度或高速運動等挑戰條件下，精確地即時識別並跟蹤目標，例如深度學習模型可以訓練使用高分辨率的空中圖像，自動檢測地面上的敵方單位、車輛或設施，機器學習模型還可以增強威脅檢測能力，在航空載具上配備感測器，蒐集潛在威脅的數據，機器學習模型能夠即時分析這些數據，預測並分類威脅，從而幫助航空載具採取迅速應對措施，例如脫逃飛行或釋放防禦系統(干擾裝置或信號彈)。

本次參加美國匹茲堡大學碩士班進修，將國外學期期間所學之機器學習領域與動態系統控制知識，充分應用於軍事科技研發上，藉由人工智慧模型的學習，以提高料件製造精度、降低運營之成本及提高本軍戰備狀態，結合新式航空器設計研發，可導入機器學習演算法以提供自主飛行與目標識別能力，減輕飛行人員操作負擔，且協助操作者擬定重要決策；並配合單位所研發之航空範疇，相互結合致力於國防科技研究發展。