



應用即時姿勢估計評估機器人智動揀貨系統的揀貨員疲勞度

指導老師: 丁慶榮 教授 學生: 劉冠廷、高子恆

研究背景與動機

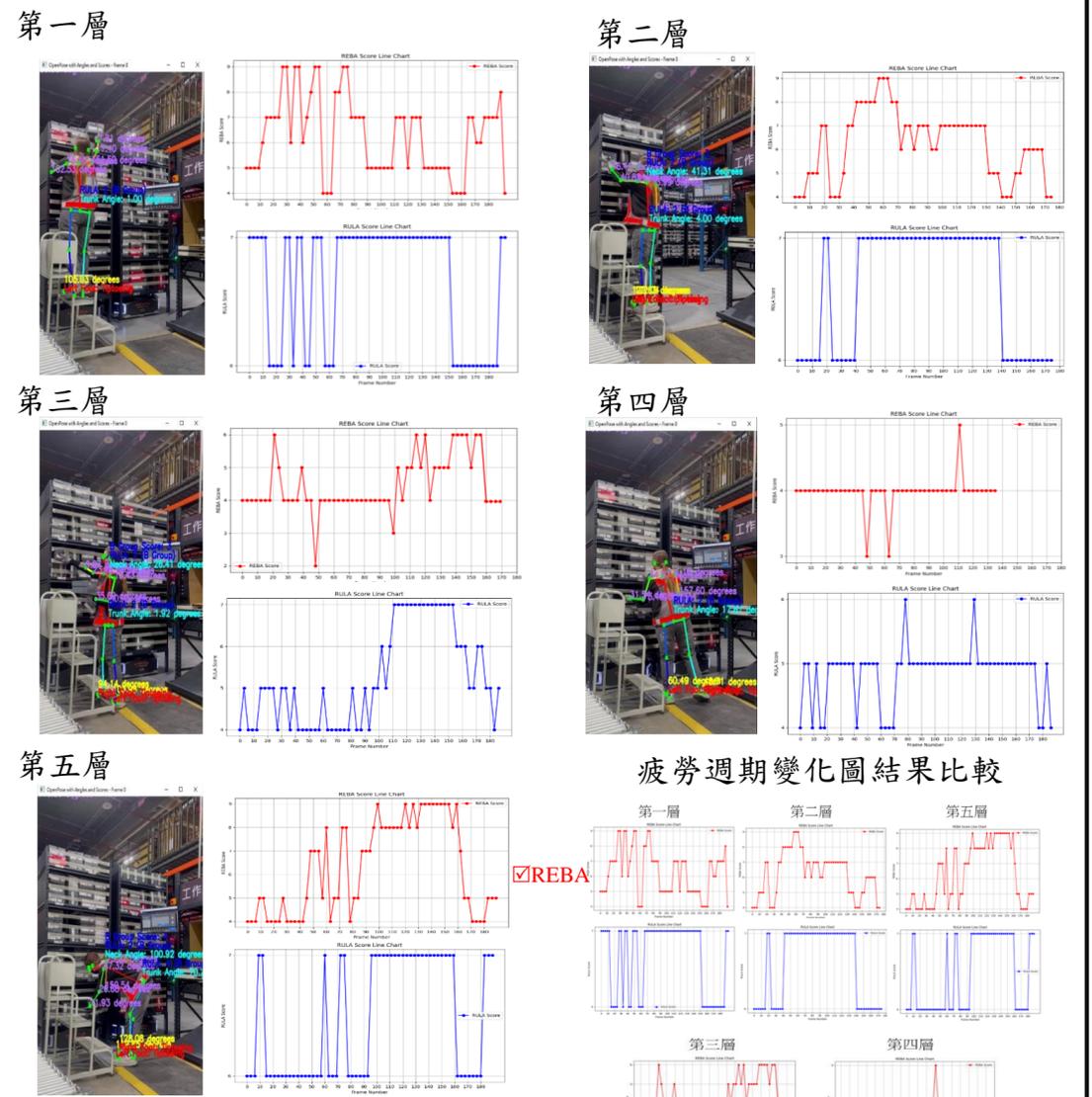
隨著電子商務的快速發展，物流與倉儲產業對作業效率與準確度的要求提升，「貨到人」與「人到貨」成為提升揀貨效率的兩提升大模式。傳統「人到貨」模式需揀貨人員長時間移動、站立與搬運，增加疲勞與職業傷害風險，而「貨到人」模式結合RMFS (Robot Mobile Fulfillment System)，藉機器人減少移動與體力負擔，提升效率與安全性。然而，RMFS提高揀貨頻率，導致重複性動作增加，進一步加劇肌肉骨骼傷害 (WMSD)，主要因高重複動作、不良姿勢及過度施力所致。本研究應用OpenPose技術，結合疲勞程度量表，捕捉揀貨人員動作，分析高風險姿勢如頻繁彎腰與不良站姿，並量化其對身體的影響，據此提供預警與改善建議，協助優化流程，減少不良姿勢發生率，作業效率與健康保障，降低企業工傷風險與成本。

研究範圍與目的

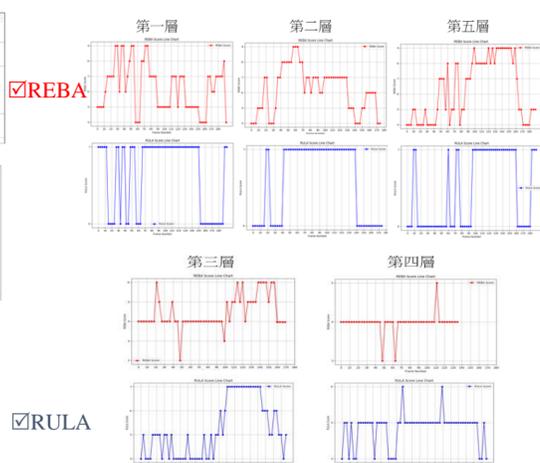
本研究聚焦於物流中心「貨到人」模式下，針對揀貨人員透過 RMFS 系統進行入庫操作時的姿勢風險與疲勞問題。我們利用 OpenPose 技術進行自動化姿勢分析，結合 RULA 和 REBA 疲勞量表，量化揀貨動作在不同儲位高度下的疲勞分數，生成疲勞週期變化圖並構建疲勞決策樹，用於選擇最適合的量表進行評估。本系統可即時分析揀貨姿勢，提供調整建議，幫助工廠優化揀貨流程與儲位設計，減少疲勞風險，提升作業效率，並為管理者提供科學數據支持，作為物品儲位規劃的參考。

實驗結果顯示

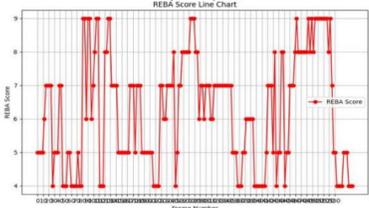
各儲位的疲勞週期變化圖(紅:REBA 藍:RULA)



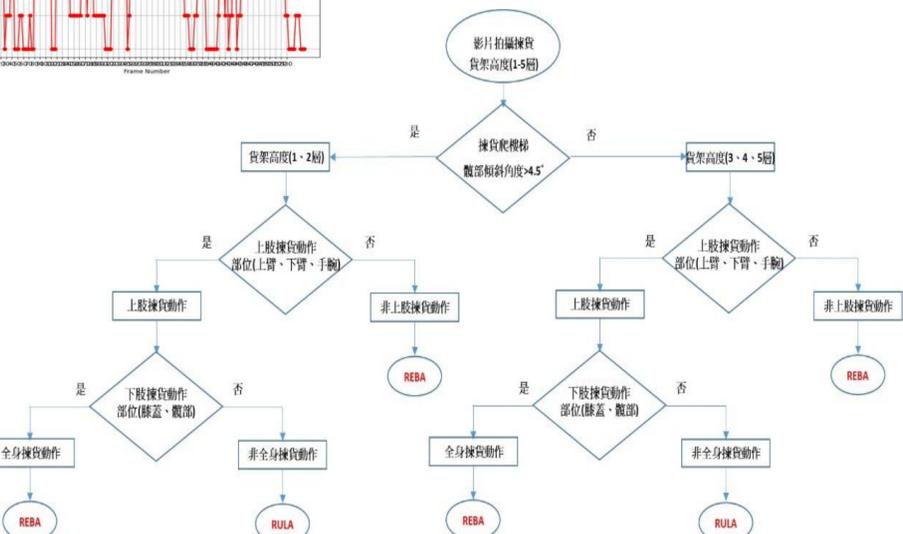
疲勞週期變化圖結果比較



隨機揀貨影片(一、二、五層) 疲勞週期變化圖 REBA平均分數:7



疲勞決策樹

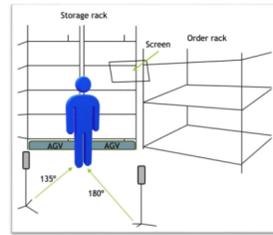


研究方法

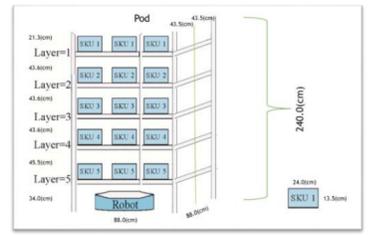
工廠與拍攝角度:

我們拍攝的場景位於北部某一家工廠，為確保拍攝資料能完整覆蓋揀貨員的入庫動作過程並減少角度誤差，現場架設了兩台攝影機。

- 高度：攝影機高度設置於與揀貨員腰部平行位置
- 距離：拍攝畫面能完整揀貨員與移動式貨架的距離範圍
- 角度：一台攝影機設置在與揀貨員作業平面垂直的角度(135°)，另一台設置在正對揀貨員的角度(180°)



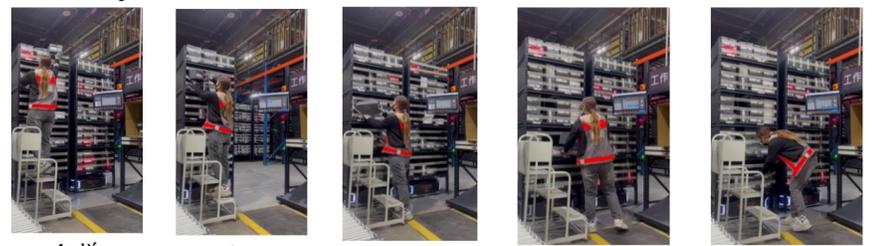
拍攝工廠環境



移動式貨架的儲位高度

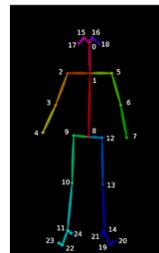
OpenPose與疲勞量表結合:

1. 首先我們根據揀貨員在不同的高度產生的姿勢(爬梯、踮腳、直立、彎腰、蹲下)進行OpenPose系統偵測。



爬梯 踮腳 直立 彎腰 蹲下

2. 定義各個關節的部位，總共25個關節點，透過三個關節點計算出部位的角度，觀察的姿勢部位(左手、左肘、左膝、左踝、右手、右肘、右膝、右踝、髖部)。



觀察部位	使用之關節點
左手	[1]頭部、[5]左肩、[7]左手腕
左肘	[5]左肩、[6]左肘、[7]左手腕
左膝	[12]左髖、[13]左膝、[14]左腳踝
左踝	[5]左肩、[12]左髖、[14]左腳踝
右手	[1]頭部、[2]右肩、[4]右手腕
右肘	[2]右肩、[3]右肘、[4]右手腕
右膝	[9]右髖、[10]右膝、[11]右腳踝
右踝	[2]右肩、[9]右髖、[11]右腳踝
髖部	[9]右髖、[12]左髖

OpenPose 25點關節點

各部位角度計算之設定關節點

3. 關節角度計算(餘弦定理): 當觀察的部位三個關節點形成一個三角形時，可以根據這些關節點之間的向量、距離(對應於三角形的邊長)來求出其中的一個角度。

$$a: \text{關節點6、7的距離} \quad \cos(\alpha) = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (1)$$

$$b: \text{關節點5、7的距離} \quad \cos(\beta) = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \quad (2)$$

$$c: \text{關節點5、6的距離} \quad \cos(\gamma) = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (3)$$

$$\alpha: \text{關節點5(左肩)的角度} \quad a, b, c > 0 \quad (4)$$

$$\beta: \text{關節點6(左肘)的角度} \quad (5)$$

$$\gamma: \text{關節點7(左腕)的角度} \quad 0^\circ < \alpha, \beta, \gamma < 180^\circ$$

RULA

部位	評比	+1	+2	+3	+4
上臂	0°-20°	20°-45°	45°-90°	90°+	
下臂	60°-100°	0°-100°			
手腕	0°	15°-15°	15°+		

REBA

部位	評比	額外+1	額外+2	+1	+2
頸部	0°-10°			20°	往後伸展
髖部	0°	0°-20°	20°-60°	60°+	

疲勞總評分	疲勞程度
1-2	低風險，可以繼續觀察
3-4	中等風險，應該進一步調查
5-6	高風險，建議立即採取改善措施
7+	非常高風險，必須立即進行改進

疲勞總評分	疲勞程度
1-3	低風險，可以繼續觀察
4-7	中等風險，應該進一步調查
8-10	高風險，建議立即採取改善措施
11+	非常高風險，必須立即進行改進

疲勞度結合移動式貨架儲位揀貨策略:

1. 設定RULA、REBA的評比方式，並根據不同儲位所產生的揀貨姿勢給予分數
2. 將RULA、REBA與揀貨儲位進行結合，分析揀貨影片在各層揀貨儲位的疲勞評比
3. 統計揀貨流程週期的疲勞程度變化，建立疲勞週期表
4. 根據各儲位的疲勞週期變化圖，建立決策樹
5. 對揀貨流程週期中平均評比分數較高的揀貨姿勢即時發出警示並給予改善建議

結論與未來展望

結論

- ✓ 影片結合OpenPose技術及疲勞量表進行量化分析
- ✓ 輸出疲勞週期變化圖顯示風險指數的變化趨勢
- ✓ 建立疲勞決策樹選擇最適合的量表

未來展望

- ✓ 與儲位指派策略結合，以疲勞度為目標，減少疲勞週期的平均分數
- ✓ 揀貨動作優化(如踮腳、單手支撐)特殊動作
- ✓ 考慮個人因素(身高、年齡)優化儲位策略
- ✓ 即時追蹤疲勞監測與作業排程