

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學(一)科

佳作

052312

基於 OpenPose 之機具操作於異常姿勢即時偵測

學校名稱：新北市立淡水高級商工職業學校

作者：  職三 張育丞  職三 吳宗融  職二 李宇桀	指導老師：  陳金雄
-----------------------------------------------	------------------

關鍵詞：OpenPose、卷積神經網路(CNN)、  
姿勢辨識

## 壹、摘要

本研究以鑽孔機操作情境做為機具操作安全智動化系統開端，進而跟上改善職業災害問題顯學，其內容包括建立操作情境、即時辨識、顯示警告與緊急處理。

操作情境包含休息、工作、發問與暈倒共四種情境模式，以坐姿、坐姿舉半手、坐姿舉手、站姿、站姿舉手與躺姿六種姿勢為表示，並依其情境來探討正常姿勢與異常姿勢。前端伺服器之 OpenPose 為人體姿勢偵測工具，並利用幾何運算與自行開發程式來定義與勢辨識各類姿勢。當異常姿勢發生時，後端伺服器將即時接收前端伺服器之姿勢代碼與判斷顯示，進行控制硬體之警示裝置與切斷電源系統，所以此研究為多人即時機具操作安全之智動化系統，而後將以此研究基礎做為各類危險機具操作應用研究。

## 貳、研究動機

我們在課堂中時常利用機具設備來完成作品，這過程讓我們了解到機具的方便性與生產力的重要性，透過同學操作機具設備不當導致受傷的事件，讓我們對於工安意外深感好奇，在查詢資料的過程中發現，工作人員常因忽視工場安全或注意力不足導致意外的發生，根據勞保局統計[1]，台灣每年約有數十人因工安意外導致傷亡，雖然 2018 年逐漸情勢趨緩，但仍有 24 名工人死亡，我們就此奠定了研究方向，並朝著「如何透過智動化監控以維護工作人員安全系統」以及「如何有效提醒工場管理者警示工作人員發生事故」[2-5]為目標。

機具設備防止職災之保護裝置主要為單機感測器與控制器來保護操作者以降低受傷[6]，如要同時智慧監控多位機具操作者與相關工作者之工作模式且建立工作模式資料，便是一項複雜問題。在一次又一次討論中，機具設備保護裝置除了感測器感測操作者以外，如何將工作者工作模式建立姿勢模型與建立資料，並予以即時分析而了解與預測工作狀況，進而掌控全場人員是一件不易的事情。

我們考慮以人工智慧做為研究模式，然而人工智慧應用於機具生產設備多以機具生產良率為主[7]，在此，我們是將人工智慧應用於機具設備工作人員來減少職災意外。人工智慧影像辨識應用於人臉辨識已有許多案例[8-9]，且近年來影像辨識用於工業安全也成為熱門議題，所以我們開始查詢相關 OpenPose 之多人即時骨骼影像辨識技術[10-12]。

我們朝著智動化監控安全為構思基礎，將其分成三大架構，如圖 1 所示，情境產生層是我們藉由觀察鑽孔機操作者並加以定義出初始情境，分別為操作、休息、舉手提問與躺姿，對此為了實現智動化的工作人員的偵測。在此，我們透過網路攝影機進行即時工作人員影像偵測，而後續情境處理的部分，並使用樹莓派結合電路，當異常姿勢發生時，可進行即時控制硬體設備警示工作人員以及姿勢訊息提醒工場管理者，並達成智動化監控安全這項構思。

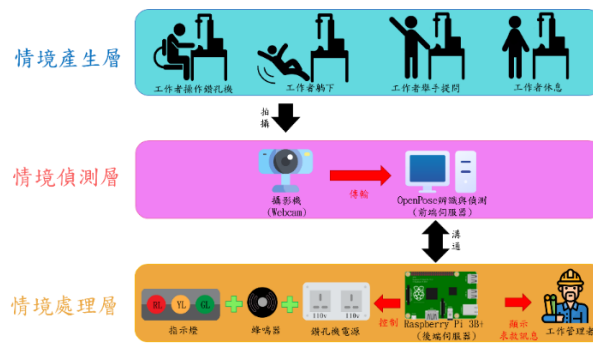


圖 1 智能化監控安全構思

## 參、研究目的

由以上研究動機可知，本主題研究目的是欲建立「基於 OpenPose 之機具操作於異常姿勢即時偵測」智能化系統，也就是以 OpenPose 為核心技術來取得操作者即時姿勢正常與否，藉此提醒操作者是否於安全狀況下工作，且於危險意外時做適當處理。

OpenPose 具有多人即時骨骼影像辨識的功能，藉由辨識將異常姿勢可分為「問題異常姿勢」與「意外異常姿勢」，將它可偵測骨骼關節部分的相對位置與身體各肢體的方向，來了解操作者與相關人員的姿勢，並根據得到的姿勢代碼來定義操作者於機具操作時之正常姿勢與異常姿勢。正常姿勢可分為坐姿、坐姿舉半手與站姿，異常姿勢可分為舉手與躺姿，前者坐姿與站姿表示為機具操作者與管理者的休息姿勢，坐姿舉半手為工作姿勢；後者舉手表示為機具操作者像管理者提問姿勢，而躺姿表示為昏厥的姿勢。另外，本研究中我們自行設計姿勢判斷與警示處理程式，主要功能是來分析機具操作者在工作時之正常姿勢與異常姿勢，藉此判斷操作者在工作場所的姿勢與動作是否為異常行為或危急狀況的發生，並協助管理者工安管理效率及操作者降低無妄之災。由此可知，本研究具有即時偵測多操作者之異常姿勢功能以達到職災意外預防與警示的效果。

綜合以上，我們設計良好鑽孔機操作環境，並且分別表示前端伺服器和後端伺服器，前者用於偵測姿勢，後者用於硬體處理如圖 2(a)所示，圖 2(b)是實際偵測姿勢的環境，藍色框表示前端伺服器以及影像結果，紅色框表示後端伺服器以及硬體，使管理者可增加管理效率及降低管理成本並改善操作者保障，所以本研究的目的具有下列功能：

- 一、利用前端伺服器之 OpenPose 骨骼影像辨識系統即時偵測操作者之身體關節部位與肢體姿勢。
- 二、利用關節部位間幾何運算之斜率、座標差與距離來定義各種情境姿勢並分析操作者的工作姿勢模式並建立工作模式資料。
- 三、於前端伺服器有效設計取樣圖片速率來偵測各類工作情境姿勢，並產生其姿勢代碼。
- 四、利用 TCP 傳輸技術將前端伺服器偵測後所產生的姿勢代碼，傳輸至後端樹莓派伺服器，並由後端樹莓派伺服器的進行判斷與控制，當發生職災意外時，系統可控制硬體之警示裝置與切斷電源系統。

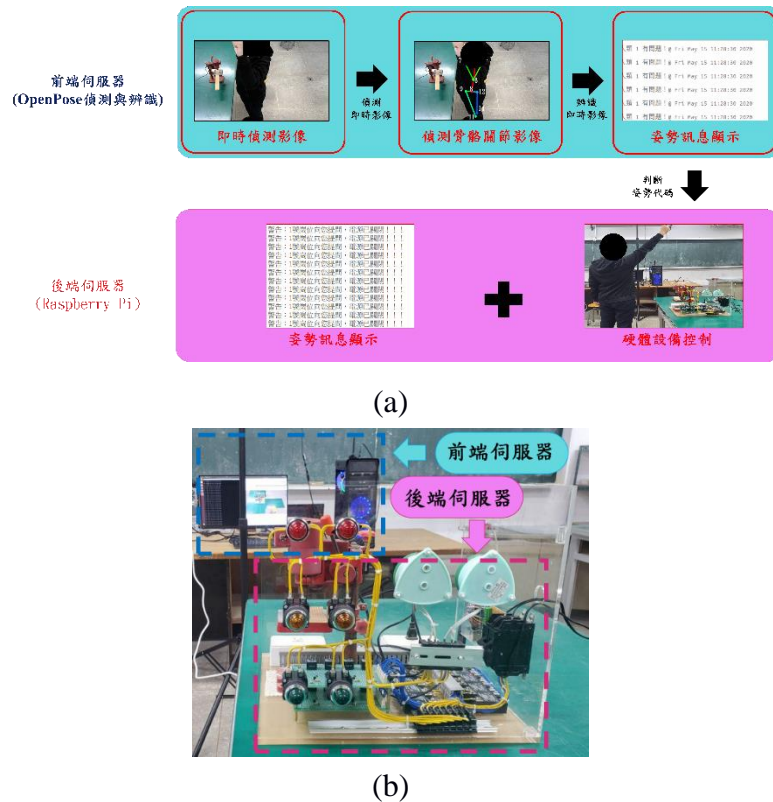


圖 2 即時異常姿勢之鑽孔機操作智動系統。(a)系統流程圖，(b)環境與實體架設圖

## 肆、研究設備與器材

為了製作此系統，我們需先架設前端伺服器之攝影機、OpenPose 骨骼影像辨識系統與異常姿勢辨識做為人工智慧核心，因此系統需要強而有力的運算能力，所以我們採用高規格 CPU(Intel i9-9900KF)與兩套 GPU(NVIDIA RTX2080 Super)，將攝影機(HD 720P/30fps)所得資料即時傳送至與 OpenPose 系統，OpenPose 系統不但可以即時追蹤與顯示人員的骨骼關節部位(Part)與肢體(Limb)方向，也可以得到相對應的姿勢代碼。

當人工智慧之骨骼影像辨識系統完成架設後，將鑽孔機架設於電源系統並配合攝影機方位與角度以便得到操作者工作姿勢，而後透過 OpenPose 系統即時追蹤並得到工作姿勢代碼。因本研究需要偵測操作者是否發生異常姿勢，所以需將 OpenPose 系統獲得操作者的骨骼關節部位與肢體方向資料時傳送給程式判斷。

操作者姿勢經前端的程式判斷完成後，可依不同狀況將結果傳送至後端樹莓派伺服器(Raspberry Pi)，後端樹莓派伺服器可以依姿勢分類來做不同處置，為因應不同處置需硬體控制電路。

由此可知，本研究需要 OpenPose 骨骼影像辨識軟體、控制程式軟體與硬體控制電路，因此所需的實驗設備與器材相當廣泛，其研究設備、材料與軟體如表 1 所示。

表 1 研究設備、材料與軟體。

編號	材料名稱	規格	數量	單位
1	主機板	Z390-E(ATX/1H1P/1 網/AC+BT5/一體擋版)	1	組
2	CPU	Intel i9-9900KF	1	組
3	GPU	NVIDIA RTX2080 Super	2	組

4	網路攝影機(Webcam)	Logitech C310、HD 720P/30fps	1	臺
5	鑽孔機	10000rpm、3mm ( 1/8" )	1	臺
6	樹莓派(Raspberry Pi)	3B+	2	臺
7	固態電驛	110V、10 A	3	個
8	指示燈	紅色、黃色、綠色(110V，各兩顆)	2	組
9	蜂鳴器	110V	2	組
10	OpenPose	2D Real-time multi-person keypoint detection	1	套
11	OpenCV	v4.2.0	1	套

### 1.作業系統(Linux)

Ubuntu 是著名的 Linux 發行版之一，它也是目前最多使用者的 Linux 版本，Ubuntu 的優點在於為一般用戶提供一個最新同時又相當穩定，主要以自由軟體建構而成的作業系統，我們將此作業系統安裝於桌上型電腦中，作為 OpenPose 的工作環境。

### 2.OpenPose

OpenPose 為美國卡內基美隆大學(CMU)所提出的技術，並將此技術開源於 GitHub 儲存庫中。此技術具有非參數性、即時多人與由人之身體關節部位與肢體之樹狀分析來分析人姿勢，透過此特性，我們定義出異常姿勢，將操作者可能發生的危險與異常姿勢進行判斷[17]。

### 3.程式語言(ANSI C)

ANSI C[18]為 OpenPose 骨骼即時影像辨識與偵測程式時使用的程式語言，透過此語言將 OpenPose 輸出的 Json 檔案進行肢體的判別與姿勢的定義。

### 4.CMake

CMake 是一個開源且跨平台的自動化建構軟體[19]。透過此軟體可對於軟體建置進行管理，並整合開發環境，讓程式編譯者可免受於程式提供者的開發環境所帶來的影響，我們安裝此軟體透過 GCC 進行 CMake 的編譯，並透過 CMake 去編譯 OpenPose 以及開發環境整合。

### 5.Cuda

Cuda 是為 NVIDIA 研發的 GPU 提高計算效率所研發的整合技術[20]。透過 Cuda 將 GPU 計算效率提高，除了讓 OpenPose 可進行運算與學習外，也讓即時偵測時的幀數，保持 Webcam 拍攝到的多人即時影像以及關節與肢體的繪製能夠同時呈現。

### 6.cuDNN

cuDNN 是 NVIDIA 所研發的軟體[21]。透過 cuDNN 可以對於神經網路的計算與機器學習等進行加強效率，對此我們使用 cuDNN 來提高 Caffe 以及 OpenCV 等軟體進行 GPU 上的加速。cuDNN 安裝順序相當特別，是需要 Cuda 先下載，並將 cuDNN 檔案放入 Cuda 資料夾中，即可完成安裝。

### 7.OpenCV

OpenCV 是一個跨平台的電腦視覺應用庫[22]，透過 C++編寫而成。使用中進行即時的圖像處理、影像辨識與圖像辨識，並且達成動態追蹤，而 OpenPose 引用 OpenCV 的即時影像處理技術來偵測出影像中人的肢體。

### 8.Caffe



Caffe 是一個深度學習的框架，透過 C++ 編譯，並且帶有 Python 介面的軟體。此軟體支援卷積神經網路(CNN)以及支援 CPU 與 GPU 方面的軟體，透過 Caffe 讓 OpenPose 可以進行卷積神經網路(CNN)的運算與處理[23]。

## 9. 樹莓派(Raspberry Pi)

由英國樹莓派基金會所開發[24]，它的特點是低價硬體及自由軟體促進。我們將樹莓派內系統設計成韌體控制中心，透過 TCP Socket 技術接收 OpenPose 異常姿勢偵測後的姿勢代碼，經由檢查姿勢代碼，並結合硬體，將讀取結果以終端機顯示警示訊息與硬體設備形成等方式呈現。

## 10. 程式語言(Python)

Python 是一通用、直譯與物件導向的程式語言[25]，它具有簡潔與直覺式的語法以及龐大的函式庫，所以適合本研究中進行使用。利用 Python 撰寫程式主要功能是顯示警示訊息、設備警報系統與機具電源。

# 伍、原理與研究規畫

## 一、原理

辨識人體的姿勢一般可分為頂-底法 (Top-Bottom approach) 及底-頂法 (Bottom-Up approach) [26]。頂-底法 (Top-Bottom approach) 是先從圖片中分割出人的位置，接著再去計算每個人的姿勢 (Pose)，頂-底法的方法有一個缺點是當人無法被成功分割出來的時候就無法計算 Pose; 而底-頂法 (Bottom-Up approach) 是先偵測看一張圖片有哪些人體部位 (Part)，再將人體部位位置連起來得到姿勢與人的位置。

美國卡內基美隆大學知覺計算研究室 (CMU-Perceptual-Computing-Lab) 多年以來致力於人體姿勢辨識一直不遺力 [13-16]，而 OpenPose 是一項具有即時多人的姿勢辨識系統，它便是採用底-頂法 (Bottom-Up approach) 進行一系列人體姿勢研究，並採用樹枝狀法 (Tree) [10-12] 及非參數法 (None parameter) 做為姿勢辨識演算方法，且具有較佳之多人即時偵測準確率及速度 [27-29]。人體關節部位訓練樣本是以 COCO and MPII 資料庫為主。COCO 資料庫中定義關節部位有 18 個部位為 COCO 型態如圖 3(a) 所示 [30-31]，而 COCO 結合 MPII 資料庫中定義關節部位有 25 個部位如圖 3(b) 所示。其 25 個關節部位型態稱為 BODY\_25 型態，BODY\_25 型態關節部位編號如表 2 所示，從表 2 中可看出人體各關節部位位置，這些位置包括臉、身體與手足之關節部位。相對於 COCO 型態，BODY\_25 型態多了身體及足趾關節部位與背景偵測。

根據上述方法及資料庫，OpenPose 不但可以獲得較好的辨識結果，計算器在學習訓練與預測上所花時間也較少。OpenPose 最主要是利用卷積神經網路 (Convolution Neural Networ, CNN) [32-35] 與關節部位親和場 (Part Affinity Fields, PAF) [13-15] 兩者進行結合，並應用於即時姿勢辨識的系統上。卷積神經網路 (CNN) 主要是先做人體與非人體辨識與人體關節部位 (Part) 偵測，也就是當確認為人體相關區域後再進行人體關節部位偵測。因人體上有許多個關節部位及關節部位接的肢體 (Limb)，所以必需正確連結二關節部位才不會造成錯誤的連結以至於產生錯誤肢體及姿勢 (Pose)，而此錯誤現象於多人靠近時格外明顯。欲達到二關節部位正確且有效率連結，作者使用關節部位親和場 (PAF) 計算二關節部位 (Part) 間親和關係做適當連結，關節部位  $x_{j1,k}$  與  $x_{j2,k}$  形成單位向  $\mathbf{v}$  量如式 (1.1) 所示，式 (1.2) 中  $\mathbf{L}^*_{c,k}(\mathbf{p})$  為

第  $k$  人之第  $c$  肢體之真實親和場，像素  $\mathbf{p}$  若位在單位向  $\mathbf{v}$  量中，則  $\mathbf{L}^*_{c,k}(\mathbf{p})=\mathbf{v}$ ，否則  $\mathbf{L}^*_{c,k}(\mathbf{p})=\mathbf{0}$ ，而第  $c$  肢體之真實親和場  $\mathbf{L}^*_c(\mathbf{p})$  為所有人  $\mathbf{L}^*_{c,k}(\mathbf{p})$  平均，為學習親合場之成本函數參考值如式(1.3)所示，也就是學習關節部位間較大親和關係具有較強連結性。

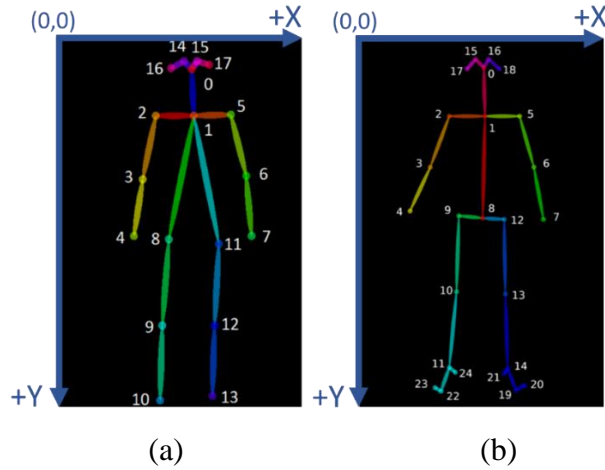


圖 3 人體各部位示意圖[29-31]。(a)COCO 關節部位資料，(b)BODY\_25 關節部位資料。

表 2 BODY\_25 部位編號。

編號	關節	編號	關節	編號	關節	編號	關節
0	鼻子	1	脖子	2	右肩膀	3	右手肘
4	右手腕	5	左肩膀	6	左手肘	7	左手腕
8	中臀	9	右髖關節	10	右膝	11	右腳踝
12	左髖關節	13	左膝	14	左腳踝	15	右眼
16	左眼	17	右耳	18	左耳	19	左腳姆指
20	左腳小指	21	左腳跟	22	右腳姆指	23	右腳小指
24	右腳跟	25	背景				

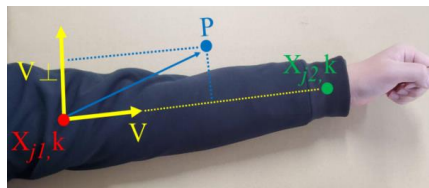


圖 4 關節部位之連結與肢體形成預測。

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{x}_{j2,k} - \mathbf{x}_{j1,k}}{|\mathbf{x}_{j2,k} - \mathbf{x}_{j1,k}|} \quad (1.1)$$

$$\mathbf{L}^*_{c,k}(\mathbf{p}) = \begin{cases} \mathbf{v} & , \text{ if } \mathbf{p} \text{ on connection } c, k \\ \mathbf{0} & , \text{ otherwise.} \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\mathbf{L}^*_c(\mathbf{p}) = \frac{1}{n_c(\mathbf{p})} \sum_k \mathbf{L}^*_{c,k}(\mathbf{p}) \quad (1.3)$$

當預測關節部位  $\mathbf{d}_{j1,k}$  與  $\mathbf{d}_{j2,k}$  時，藉由親和場積分式(2.1)中  $E$  量化關節部位連結性，演算過程中可以利用內差法在  $\mathbf{d}_{j1,k}$  與  $\mathbf{d}_{j2,k}$  之區間求得影像畫素位置  $\mathbf{p}(\mathbf{u})$  如式(2.2)所示，根據式

(2.1)來計算親和場  $L_c(\mathbf{p}(u))$ ，在影像畫素位置  $\mathbf{p}(u)$ 與單位向量相乘，使影像畫素位置  $\mathbf{p}(u)$ 具有方向性，當量化值愈大時代表此預測關節部位  $\mathbf{d}_{j1,k}$  與  $\mathbf{d}_{j2,k}$ 所形成的肢體準確性愈高，如此方法用於多人肢體預測重要依據。

$$E = \int_{u=0}^{u=1} L_c(\mathbf{p}(u)) \cdot \frac{\mathbf{d}_{j2,k} - \mathbf{d}_{j1,k}}{|\mathbf{d}_{j1,k} - \mathbf{d}_{j1,k}|} du \quad (2.1)$$

$$\mathbf{p}(u) = (1 - u)\mathbf{d}_{j1,k} + u\mathbf{d}_{j2,k} \quad (2.2)$$

關節部位信心圖(Confidence map) $S_{j,k}^*(\mathbf{p})$ 是以高斯分佈來演算如式(3.1)所示，式(3.1)以真實(Groundtruth)的第  $k$  人第  $j$  關節部位做為標記當作學習的依據如圖 5 所示，圖 5 裡顯示身體肢體於真實關節部位  $x_{j,k}$  高斯分佈，兩個高斯曲線表示相同的關節部位編號在兩個人之中，若影像畫素之任一點  $\mathbf{p}$  不為關節部位  $\mathbf{x}_{j,k}$ ，則信心圖(Confidence map)會愈小，而式(3.2)中， $S_j^*(\mathbf{p})$ 是從所有人中之第  $j$  關節部位取其最大值，為學習信心圖之成本函數參考值，能觀察親合場之關節部位的準確率。

$$S_{j,k}^*(\mathbf{p}) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{p} - \mathbf{x}_{j,k}\|^2}{\sigma^2}\right) \quad (3.1)$$

$$S_j^*(\mathbf{p}) = \max_k S_{j,k}^*(\mathbf{p}) \quad (3.2)$$

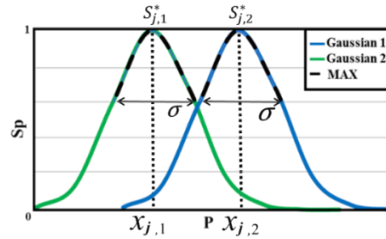


圖 5 關節部位信心圖(Confidence Map,CM)。

## 二、架構

OpenPose 先利用 CNN 的 VGG-19 偵測出人體並將影像中與人體無相關的區域進行去除，進而提高學習與診斷效率，並以頂-底法 (Top-Bottom approach) 架構學習關節部位偵測 (Part-Detection)與關節部位連結(Part-Association)來計算勢(Pose)，也就是將人體相關區域的影像進行關節部位親和場 (PAF)與關節部位信心圖(Confidence Map)預測，如此可獲得影像中哪些關節部位(Part)最具有相連性，並將高相連性關節部位間進行連結而形成肢體(Limb)，再藉由肢體(Limb)形態定義人體姿勢 (Pose)。

由以上可知，OpenPose 的基本架構可分為肢體(Limb)與關節部位(Part)學習如圖 6 所示 [15]，肢體(Limb)與關節部位(Part)預測皆採用卷積神經網路(CNN)來做機具學習[36]，並且由關節部位親合場取得關節部位以及關節部位信心圖取得關節部位，兩者信心圖進行比較，以便於得知關節部位親合場取得關節部位的準確度。



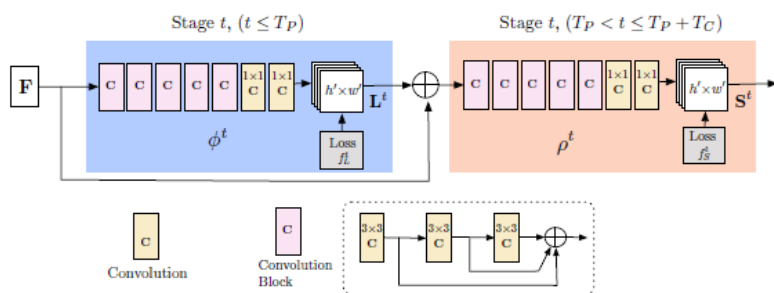


圖 6 OpenPose 的基本架構之單支節學習架構[15]。

圖 6 單支節學習架構收斂度是以關節部位親和場 (PAF) 成本函數  $f_L^t$  來表示與關節部位信心圖 (Confidence Map) 成本函數  $f_S^t$ ，前者為各肢體 (Limb) 之關節部位親和場 (PAF) 於學習中預測值對真實值誤差之總和如式(4.1)所示，後者為各關節部位信心圖 (Confidence Map) 於學習中預測值對真實值誤差之總和如式(4.2)所示，若真實值與預測值誤差小，就能做收斂，表示學習完成，而總成本函數  $f = f_L^t + f_S^t$  如式(4.3)所示。

$$f_L^t = \sum_{c=1}^{C=24} \sum_p^{p \in L} W(p) \cdot \|L_c^t(p) - L_c^*(p)\|^2 \quad (4.1)$$

$$f_S^t = \sum_{j=1}^{J=25} \sum_p^{p \in S} W(p) \cdot \|S_j^t(p) - S_j^*(p)\|^2 \quad (4.2)$$

$$f = \sum_{t=1}^{T_P} f_L^t + \sum_{t=1}^{T_P+T_C} f_S^t \quad (4.3)$$

### 三、研究規劃

由於在學校我們常使用鑽孔機製作成品，所以本研究規劃選擇鑽孔機做為實驗機具如圖 7(a)所示，圖 7(b)顯示我們製作成品時姿勢。我們根據鑽孔機基本工作姿勢來予以分類與定義，藉由定義來判斷操作者是否發生異常姿勢。

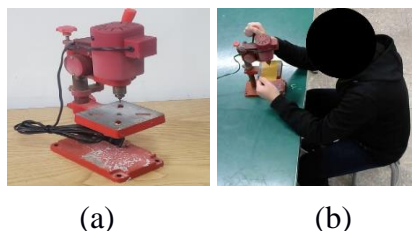


圖 7 鑽孔機操作。(a)鑽孔機，(b)鑽孔機操作。

本研究的研究架構為使用攝影機截取即時影像，影像經由 OpenPose 求出肢體 (Limb) 與關節部位 (Part)，再進行姿勢的判斷，而後經由網路與後端樹莓派伺服器溝通，來控制蜂鳴器、指示燈與插座電源，而插座電源的控制相當於控制鑽孔機。我們根據意外事件發生以及鑽孔機基本工作姿勢來予以分類與定義，藉由定義來判斷操作者是否發生異常姿勢，所以規劃最主要的部分依序為姿勢情境設定、異常姿勢辨識與異常姿勢處理如圖 8 所示。

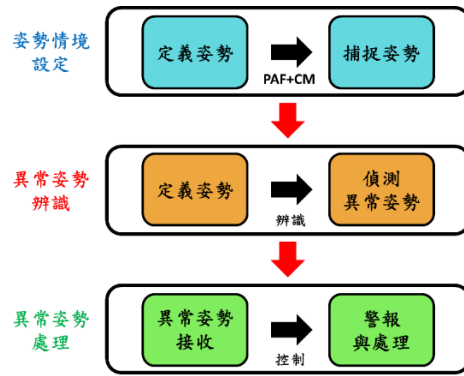


圖 8 研究規劃與架構。

### (一)、姿勢情境設定

本研究規劃 6 種操作鑽孔機情境，身體姿態主要以站姿、坐姿與躺姿為主，並搭配舉手動作來表達操作時各種情境發生如表 3 所示，如表 3 之姿勢辨識可分為休息中、工作中與異常姿勢三種，姿勢代碼代表不同姿勢編號，而硬體處理為指示燈提示與警報處理。姿勢辨識將以關節部位間斜率、座標差與距離來定義，以下將一一說明不同姿勢定義。

1. 坐姿：坐姿為表 3 中情境 1、情境 2 與情境 3 情況，坐姿定義可由圖 9 (a)、(b)與(c)中顯示右髖關節座標 $(x_{j9}, y_{j9})$ 與右膝關節座標 $(x_{j10}, y_{j10})$ 、左髖關節座標 $(x_{j12}, y_{j12})$ 與左膝關節座標 $(x_{j13}, y_{j13})$ 。坐姿大腿的部份定義為斜率  $m_{r1} = |(y_{j9} - y_{j10}) / (x_{j9} - x_{j10})|$  且  $m_{r1} \leq 1$ ，或  $m_{l1} = |(y_{j12} - y_{j13}) / (x_{j12} - x_{j13})|$  且  $m_{l1} \leq 1$ ，並且脖子座標 $(x_{j1}, y_{j1})$ 與中臀座標 $(x_{j8}, y_{j8})$ 。坐姿身體的部份定義為距離  $S_1 = \sqrt{(x_{j8} - x_{j1})^2 + (y_{j8} - y_{j1})^2}$  且  $|x_{j8} - x_{j1}| \leq S_1/2$ 。
2. 站姿：站姿為表 3 中情境 4 與情境 5 情況，圖 9(d)與(e)顯示右髖關節座標 $(x_{j9}, y_{j9})$ 與右膝關節座標 $(x_{j10}, y_{j10})$ 、左髖關節座標 $(x_{j12}, y_{j12})$ 與左膝關節座標 $(x_{j13}, y_{j13})$ 。站姿大腿部份定義為距離  $S_{r2} = \sqrt{(x_{j10} - x_{j9})^2 + (y_{j10} - y_{j9})^2}$  且  $|x_{j10} - x_{j9}| \leq S_{r2}/2$ ，或  $S_{l2} = \sqrt{(x_{j13} - x_{j12})^2 + (y_{j13} - y_{j12})^2}$  且  $|x_{j13} - x_{j12}| \leq S_{l2}/2$ 。另外，符合站姿身體的部份定義為距離  $S_1 = \sqrt{(x_{j8} - x_{j1})^2 + (y_{j8} - y_{j1})^2}$  且  $|x_{j8} - x_{j1}| \leq S_1/2$ ，其中 $(x_{j1}, y_{j1})$ 為脖子座標，而 $(x_{j8}, y_{j8})$ 為中臀座標。
3. 舉半手：舉半手可分為坐姿與站姿姿勢如為表 3 中情境 2 情況，右肩膀座標 $(x_{j2}, y_{j2})$ 、右手肘座標 $(x_{j3}, y_{j3})$ 與右手腕座標 $(x_{j4}, y_{j4})$ 如圖 9(b)所示，舉半手定義為  $y_{j3} - y_{j2} \geq \delta_{r2}$  且  $\delta_{r2} = 0.5$ ， $|y_{j2} - y_{j4}| \leq \delta_{r3}$  且  $\delta_{r3} = 50$ 。
4. 舉手：舉手可分為坐姿與站姿姿勢如為表 3 中情境 3 與情境 5 情況，右肩膀座標 $(x_{j2}, y_{j2})$ 與右手肘座標 $(x_{j3}, y_{j3})$ 如圖 9(c)與(e)所示，右手舉手定義為  $y_{j2} - y_{j3} \geq \delta_{r4}$  且  $\delta_{r4} = 0.5$ 。同義，左肩膀座標 $(x_{j5}, y_{j5})$ 與左手肘座標 $(x_{j6}, y_{j6})$ ，左手舉手定義為  $y_{j5} - y_{j6} \geq \delta_{l4}$  且  $\delta_{l4} = 0.5$ 。
5. 休息：休息可分為坐姿與站姿姿勢如表 3 中情境 1 與情境 4 情況，右肩膀座標 $(x_{j2}, y_{j2})$ 、右手肘座標 $(x_{j3}, y_{j3})$ 與右手腕座標 $(x_{j4}, y_{j4})$ 如圖 9(a)與(d)所示，休息定義為  $y_{j4} - y_{j3} \geq \delta_{r2}$  且  $\delta_{r2} = 0.5$ ， $y_{j3} - y_{j2} \leq \delta_{r3}$  且  $\delta_{r3} = 0.5$ 。或者左肩膀座標 $(x_{j4}, y_{j4})$ 、左手肘座標 $(x_{j5}, y_{j5})$ 與左手腕座標，定義為  $y_{j7} - y_{j6} \geq \delta_{l2}$  且  $\delta_{l2} = 0.5$ ， $y_{j6} - y_{j5} \geq \delta_{l3}$  且  $\delta_{l3} = 0.5$ 。
6. 躺姿：躺姿為表 3 中情境 6 情況，脖子座標 $(x_{j1}, y_{j1})$ 與中臀座標 $(x_{j8}, y_{j8})$ 如圖 9(f)所示，躺姿定義為脖子與中臀間斜率  $m_2 = |(y_{j1} - y_{j8}) / (x_{j1} - x_{j8})|$  且  $m_2 \leq 1$ 。

表 3 鑽孔機操作姿勢情境。

情境	姿勢	圖像	姿勢辨識	姿勢代碼	硬體控制與處理
情境 1	坐姿	圖 8(a)	休息姿勢	01	綠燈亮，鑽孔機電源 OFF
情境 2	坐姿舉半手	圖 8(b)	工作姿勢	02	綠燈亮，鑽孔機電源 ON
情境 3	坐姿舉手	圖 8(c)	問題異常姿勢	03	黃燈亮，鑽孔機電源 OFF
情境 4	站姿	圖 8(d)	休息姿勢	04	綠燈亮，鑽孔機電源 OFF
情境 5	站姿舉手	圖 8(e)	問題異常姿勢	05	黃燈亮，鑽孔機電源 OFF
情境 6	躺姿	圖 8(f)	意外異常姿勢	06	紅燈亮，蜂鳴器 ON，鑽孔機電源 OFF

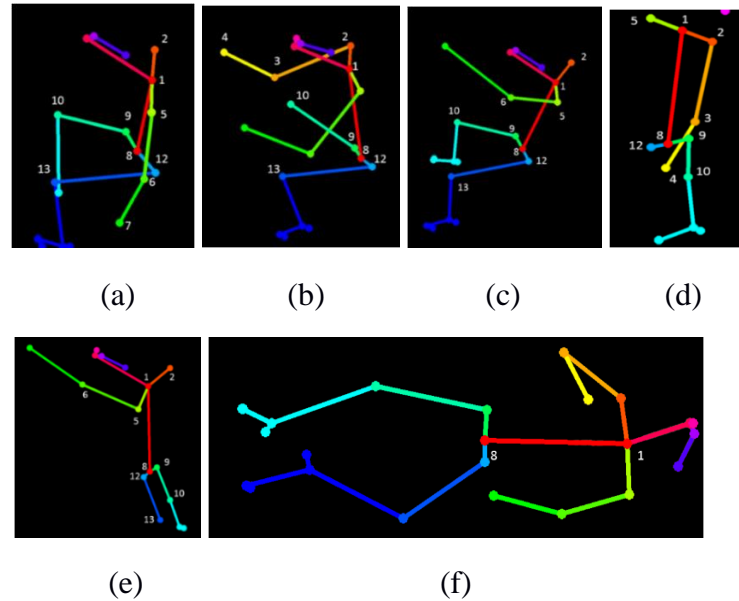


圖 9 鑽孔機操作姿勢情境。(a)坐姿，(b)坐姿舉半手，(c)坐姿舉手，(d)站姿，(e)站姿舉手，(f)躺姿。

## (二)、異常姿勢偵測

異常姿勢辨識來表示緊急事故或意外事件發生，定義異常姿勢可分為二類型態，於此是以舉手與躺姿來判斷，舉手姿勢之關節部位為表 3 中情境 3 與情境 5 如圖 9(c)與(e)所示，而躺姿姿勢為情境 6 為圖 9(f)所示。

## (三)、異常姿勢處理

異常姿勢處理為異常姿勢偵測後將做進一步指示警報與處理，是屬於後端硬體控制，達到提醒操作者與管理者功能，其內容主要可分為異常姿勢接收與警報與處理，前者是後端伺服器接收前端伺服器 OpenPose 偵測與姿勢判斷結果，而後者是依偵測結果做不同處理。

## 陸、研究過程與結果

根據研究規劃便開始著手於鑽孔機操作之實驗設計，其實驗架構與流程如圖 10 所示，圖 10 顯示本實驗重點在於姿勢取得、異常姿勢擷取與異常姿勢控制三大部分；第一部分之姿勢取得包含了 OpenPose 架設測試與情境姿勢產生及預測，第二部分之異常姿勢擷取包括異

常姿勢標記與訊息傳送，第三部分之異常姿勢控制包括異常姿勢軟硬體警示與處理，以下將說明研究過程與結果。

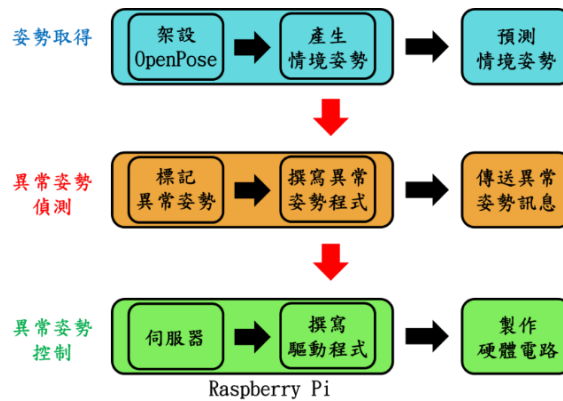


圖 10 實驗架構與流程。

## 一、姿勢取得

### 1. OpenPose 架設測試

#### (1). OpenPose 安裝

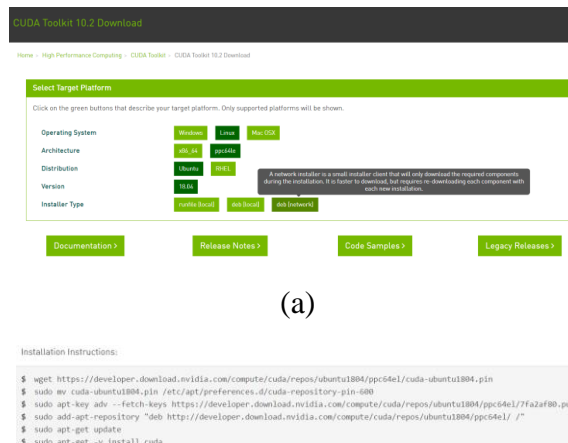
從卡內基美隆大學知覺計算研究室開源的 CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose 之 GitHub 儲存庫進行下載，但下載前需檢查電腦 Linux 作業系統是否已有 Git 指令再進行下載，下載需使用 "git clone" 語法並附加 OpenPose 儲存庫之 URL 並執行即可完成下載。

#### (2). CMake 安裝

安裝時首先需要在終端機(Terminal)命令列中輸入 "sudo apt-get install cmake-gui" 語法便可進行安裝，安裝過程中若會出現無 OpenSSL 問題，則需輸入 "sudo apt-get install openssl" 語法進行 OpenSSL 安裝，而後再重新輸入 "sudo apt-get install cmake-gui" 執行安裝。

#### (3). Cuda 安裝

安裝 Cuda 時需要先到 NVIDIA 網站進行規格選單的填寫，如圖 11(a)所示，而後會產生一串指令如圖 11(b)所示，將指令依序輸入終端機(Terminal)命令列中便可以完成安裝，安裝時可以先創建一個 Downloads 的資料夾，日後如果 Cuda 故障時，可直接進行將檔案用升級或修復。



(a)

(b)

圖 11 Cuda 安裝[20]。(a)Cuda 規格選單，(b)Cuda 安裝指令。



#### (4).cuDNN 安裝

安裝 cuDNN 前需先檢查是否電腦已經安裝 Cuda，由於 cuDNN 安裝需要先有 NVIDIA 帳號方可以進入 cuDNN 官網，填寫官網站安裝用途等相關資訊後，即可進入選單選擇所需要版本之壓縮檔進行下載，下載後將 cuDNN 解壓縮之 Cuda 的資料夾存至 Cuda 軟體的執行資料夾內即完成安裝。

#### (5).OpenCV 安裝

安裝 OpenCV 時需要在終端機(Terminal)命令列中輸入”sudo apt-get install libopencv-dev”語法，並且留意安裝版本是否為發行(release)版本，否則可能會造成 OpenPose 的不穩定現象。

#### (6).Caffe 安裝

安裝 Caffe 時，需要在終端機(Terminal)命令列中輸入”sudo bash./scripts/Ubuntu/install\_deps\_and\_cuda.sh”語法便可進行安裝，當此步驟完成時便可以進行 OpenPose 姿勢情境測試。

#### (7).情境測試

##### a.單人情境姿勢測試

我們對於單人情境姿勢進行測試，並規劃出了五個姿勢進行演示如圖 12 所示，其各種情境姿勢分別為站姿、站姿舉手、坐姿、蹲姿與躺姿。當以上影像之單人姿勢經由 OpenPose 進行預測後皆可顯示各姿勢之關節部位(Part)與肢體(Limb)位置如圖 12(a)之站姿預測、圖 12(b)之站姿舉手預測、圖 12(c)之坐姿預測、圖 12(d)之蹲姿預測與圖 12(e)之躺姿預測。表 4 將列出圖 12(a)中站姿各關節部位(Part)座標及信心圖(Confidence Map)以便觀察 OpenPose 預測結果，與圖 13 表示所其信心圖(Confidence Map)大小，由於所有關節部位都有被偵測出，所以各關節部位信心圖皆大於 0.693，而手與臉部關節部位之信心圖都有 0.8 以上。

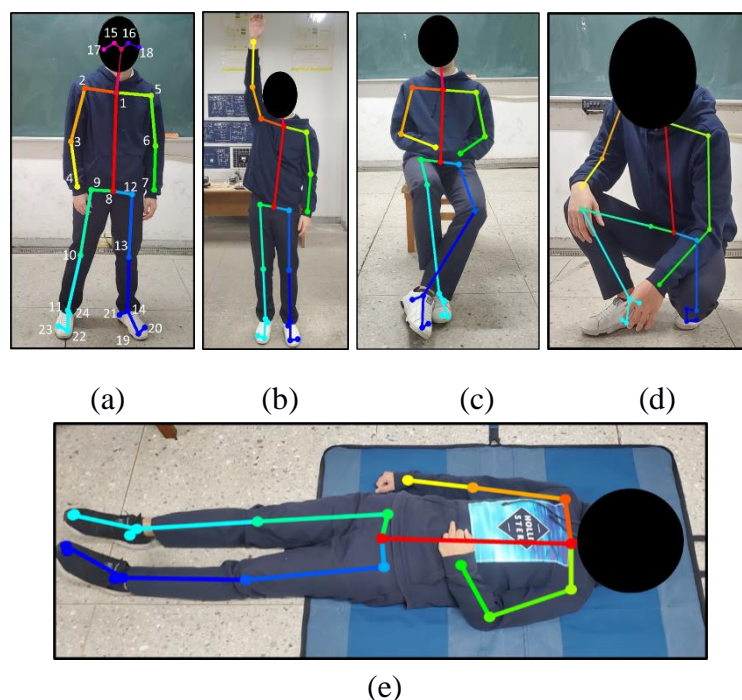


圖 12 單人情境姿勢預測。(a)站姿，(b)站姿舉手，(c)坐姿，(d)蹲姿，(e)躺姿。

將圖 12(a)站姿預測結果信心圖之落點分布來看如圖 13 所示，在圖 13(a)的情境測試中可以發現在單人且無遮蔽及背景影響的環境中數據均為 80% 以上，這表示越是單純的環境影像對於人體的預測越是準確。

表 4 站姿關節部位(Part)座標及信心度(Confidence Map)。

關節編號	0 鼻子	1 脖子	2 右肩膀	3 右手肘	4 右手腕
X 座標	1267.1	1278.1	1013.7	936.3	936.9
Y 座標	1178.9	1520.0	1498.4	1905.81	2269.0
CM(信心度)	<b>0.940</b>	<b>0.935</b>	<b>0.882</b>	<b>0.881</b>	<b>0.910</b>
關節編號	5 左肩膀	6 左手肘	7 左手腕	8 中臀	9 右髖關節
X 座標	1542.6	1608.8	1586.3	1233.9	1080.0
Y 座標	1531.3	1938.9	2302.5	2302.3	2302.1
CM(信心度)	<b>0.879</b>	<b>0.856</b>	<b>0.884</b>	<b>0.772</b>	<b>0.788</b>
關節編號	10 右膝	11 右腳踝	12 左髖關節	13 右膝	14 左腳踝
X 座標	1069.0	1057.6	1388.0	1344.5	1300.1
Y 座標	2852.8	3315.3	2313.2	2875.0	3315.8
CM(信心度)	<b>0.853</b>	<b>0.872</b>	<b>0.772</b>	<b>0.892</b>	<b>0.871</b>
關節編號	15 右眼	16 右眼	17 右耳	18 左耳	19 左腳姆指
X 座標	1211.9	1322.3	1156.8	1410.2	1299.8
Y 座標	1134.7	1123.9	1189.9	1178.9	3503.1
CM(信心度)	<b>0.902</b>	<b>0.904</b>	<b>0.908</b>	<b>0.957</b>	<b>0.873</b>
關節編號	20 左腳小指	21 左腳跟	22 右腳姆指	23 右腳小指	24 右腳跟
X 座標	1376.9	1267.2	1036.1	980.6	1069.0
Y 座標	3491.5	3359.6	3491.6	3469.8	3348.7
CM(信心度)	<b>0.882</b>	<b>0.693</b>	<b>0.972</b>	<b>0.964</b>	<b>0.742</b>

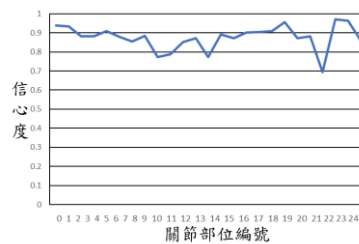
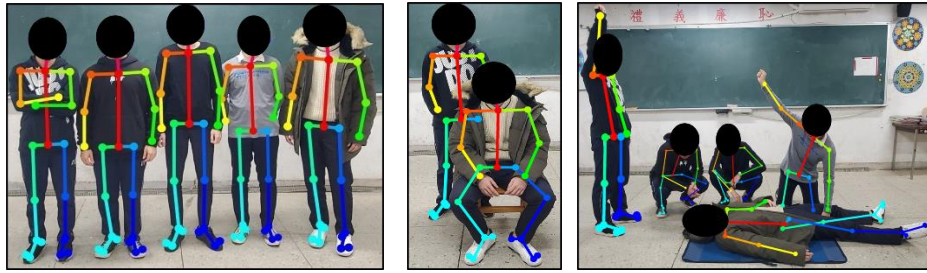


圖 13 單人情境站姿預測信心圖(Confidence Map)。

#### a. 多人情境姿勢測試

經由單人情境姿勢測試後，我們也對於多人情境姿勢進行安排與演示，從圖 14 來看可看出多人的姿勢也成功偵測出來，而且同學與同學之間雖然站的位置相當密集，對於多人情境之站姿、站姿與坐姿與意外發生模擬情境。針對上述姿勢再經由 OpenPose 進行預測後皆可顯示各姿勢之關節部位(Part)與肢體(Limb)位置如圖 14(a)為站姿預測、圖 14(b)站姿與坐姿預測及圖 14(c)意外發生模擬情境預測；從圖 14(a)、(b)與(c)中可發現當個人身體關節部位(Part)被其他人遮蔽時將無法顯示其關節部位(Part)與肢體(Limb)。



(a) (b) (c)

圖 14 多人情境姿勢測試。(a)站姿預測，(b)站姿與坐姿預測，(c)意外發生模擬預測。

## 2. 產生與預測操作鑽孔機情境姿勢

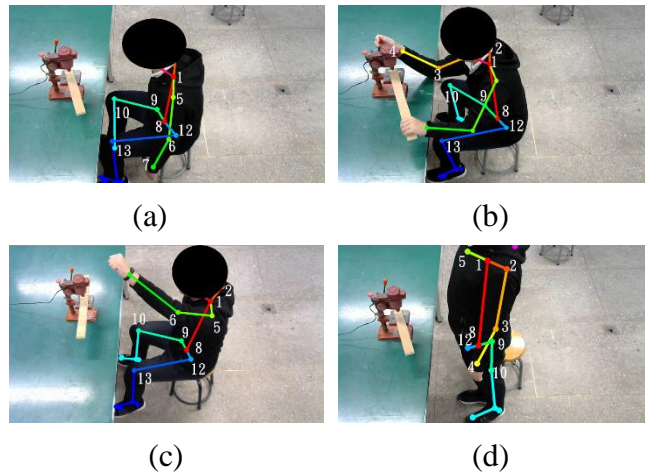
根據實驗規劃之使用鑽孔機會發生的姿勢，我們開始著手架設與實驗並預測操作者關節部位(Part)與肢體(Limb)如圖 15 所示，圖 15(a)中顯示前端伺服器 OpenPose 即時將攝影機傳來的工作情境予以預測，而圖 15(b)多人操作情境。



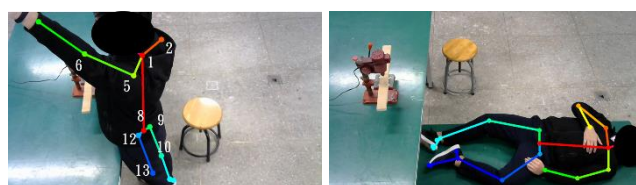
(a) (b)

圖 15 實驗情境量測。(a)前端伺服器 OpenPose 即時情境預測，(b)多人操作情境。

將圖 15(a)做進一步姿勢情境探討如圖 16 所示，圖 16(a)、(b)與(c)是坐姿預測，其中圖 16(a)代表操作者休息中暫停使用鑽孔機，圖 16(b)坐姿舉半手代表操作者正在使用鑽孔機，圖 16(c)坐姿舉手代表操作者坐著舉手發問而暫停使用鑽孔機。而圖 16(d)、(e)與(f)是站姿預測，其中圖 16(d)代表操作者站著息中暫停使用鑽孔機，圖 16(e)站姿舉手代表操作者站著舉手發問而暫停使用鑽孔機。另外，圖 16(f)是躺姿預測，代表操作者昏倒在地上需要救援。



(a) (b) (c) (d)



(e)

(f)

圖 16 產生與預測操作鑽孔機情境姿勢。(a)坐姿休息，(b)坐姿舉半手，(c)坐姿舉手，(d)站姿休息，(e)站姿舉手，(f)躺姿。

從表 5 中坐姿休息之關節部位與信心圖數據可觀察圖 15(a)姿勢預測結果，很明顯地，右腕關節座標 $(x_{j9}, y_{j9})=(599.9, 421.7)$ 、右膝關節座標 $(x_{j10}, y_{j10})=(417.7, 527.4)$ 、左腕關節座標 $(x_{j12}, y_{j12})=(676.3, 527.4)$ 與左膝關節座標 $(x_{j13}, y_{j13})=(417.7, 551)$ 。坐姿大腿的部份定義為斜率 $|(421.7-527.4)/(599.9-417.7)|=0.580$ 且 $0.580 \leq 1$ 或 $|(527.4-551)/(676.3-417.7)|=0.091$ 且 $0.091 \leq 1$ ，並且脖子座標 $(x_{j1}, y_{j1})=(666.5, 290.4)$ 與中臀座標 $(x_{j8}, y_{j8})=(629.3, 470.6)$ 。坐姿身體的部份定義為距離 $\sqrt{(629.3 - 666.5)^2 + (470.6 - 290.4)^2}=184.000$ 且 $37.2 \leq 92.000$ 。左肩膀座標 $(x_{j5}, y_{j5})=(664.6, 372.7)$ 、左手肘座標 $(x_{j6}, y_{j6})=(647.0, 543.1)$ 與左手腕座標 $(x_{j7}, y_{j7})=(584.2, 654.8)$ ，休息定義為 $654.8-543.1=111.7$ 且 $111.7 \geq 0.5$ ， $543.1-372.7=170.4$ 且 $170.4 \geq 0.5$ 。而各關節部位與信心圖為 $CM_{j1}=0.324$ 、 $CM_{j5}=0.343$ 、 $CM_{j6}=0.371$ 、 $CM_{j7}=0.686$ 、 $CM_{j8}=0.147$ 、 $CM_{j9}=0.172$ 、 $CM_{j10}=0.765$ 、 $CM_{j12}=0.139$ 與 $CM_{j13}=0.477$ 。

表 5 坐姿休息之關節部位與信心圖。

關節編號	0 鼻子	<b>1</b> 脖子	2 右肩膀	3 右手肘	4 右手腕
X 座標	500.0	<b>666.5</b>	674.4	<b>×</b>	<b>×</b>
Y 座標	182.7	<b>290.4</b>	212.0	<b>×</b>	<b>×</b>
CM(信心圖)	0.872	<b>0.324</b>	0.237	<b>×</b>	<b>×</b>
關節編號	<b>5</b> 左肩膀	<b>6</b> 左手肘	<b>7</b> 左手腕	<b>8</b> 中臀	<b>9</b> 右腕關節
X 座標	<b>664.6</b>	<b>647.0</b>	<b>584.2</b>	<b>629.3</b>	<b>599.9</b>
Y 座標	<b>372.7</b>	<b>543.1</b>	<b>654.8</b>	<b>470.6</b>	<b>421.7</b>
CM(信心圖)	<b>0.343</b>	<b>0.371</b>	<b>0.686</b>	<b>0.147</b>	<b>0.172</b>
關節編號	<b>10</b> 右膝	11 右腳踝	<b>12</b> 左腕關節	<b>13</b> 左膝	14 左腳踝
X 座標	<b>425.6</b>	427.6	<b>676.3</b>	<b>417.7</b>	439.3
Y 座標	<b>378.5</b>	578.4	<b>527.4</b>	<b>551</b>	715.6
CM(信心圖)	<b>0.765</b>	0.304	<b>0.139</b>	<b>0.477</b>	0.355
關節編號	15 右眼	16 左眼	17 右耳	18 左耳	19 左腳姆指
X 座標	<b>×</b>	517.7	<b>×</b>	600.0	374.6
Y 座標	<b>×</b>	176.7	<b>×</b>	225.7	696.0
CM(信心圖)	<b>×</b>	0.821	<b>×</b>	0.854	0.175
關節編號	20 左腳小指	21 左腳跟	22 右腳姆指	23 右腳小指	24 右腳跟
X 座標	386.4	456.9	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>
Y 座標	715.6	715.5	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>
CM(信心圖)	0.130	0.225	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>

註：“**×**”表示為 OpenPose 未偵測到的關節部位之信心圖。

從表 6 中坐姿舉半手之關節部位與信心圖數據可觀察圖 15(b)姿勢預測結果，很明顯地，



右腕關節座標 $(x_{j9}, y_{j9})=(623.4, 449.1)$ 與右膝關節座標 $(x_{j10}, y_{j10})=(445.2, 329.6)$ 、左腕關節座標 $(x_{j12}, y_{j12})=(672.4, 500.1)$ 與左膝關節座標 $(x_{j13}, y_{j13})=(421.6, 525.5)$ 。坐姿大腿的部份定義為斜率 $|(449.1-329.6)/(623.4-445.2)|=0.671$  且  $0.671 \leq 1$ ，或 $|(500.1-525.5)/(672.4-421.6)|=0.101$  且  $0.101 \leq 1$ ，並且脖子座標 $(x_{j1}, y_{j1})=(607.8, 233.6)$ 與中臀座標 $(x_{j8}, y_{j8})=(641.1, 476.5)$ 。坐姿身體的部份定義為距離 $\sqrt{(641.1-607.8)^2+(476.5-233.6)^2}=245.171$  且  $33.3 \leq 122.586$ 。右肩膀關節座標 $(x_{j2}, y_{j2})=(611.7, 170.9)$ 、右手肘關節座標 $(x_{j3}, y_{j3})=(400.1, 257.1)$ 與右手腕關節座標 $(x_{j4}, y_{j4})=(259.0, 188.5)$ 舉半手定義為 $257.1-170.9=86.2$  且  $86.2 \geq 0.5$ ， $543.1-372.7=170.4$  且  $170.4 \geq 0.5$ 。為 $y_{j3}-y_{j2} \geq \delta_{r2}$  且  $\delta_{r2}=0.5$ ， $|170.9-188.5|=17.6$  且  $17.6 \leq 50$ 。而各關節部位與信心圖為 $CM_{j1}=0.346$ 、 $CM_{j2}=0.193$ 、 $CM_{j3}=0.717$ 、 $CM_{j4}=0.68$ 、 $CM_{j8}=0.212$ 、 $CM_{j9}=0.318$ 、 $CM_{j10}=0.583$ 、 $CM_{j12}=0.265$  與  $CM_{j13}=0.618$ 。

表 6 坐姿舉半手之關節部位與信心圖。

關節編號	0	1	2	3	4
	鼻子	脖子	右肩膀	右手肘	右手腕
X 座標	454.9	607.8	611.7	400.1	259.0
Y 座標	172.8	233.6	170.9	257.1	188.5
CM(信心圖)	0.824	0.346	0.193	0.717	0.686
關節編號	5	6	7	8	9
	左肩膀	左手肘	左手腕	中臀	右腕關節
X 座標	639.1	500.0	315.9	641.1	623.4
Y 座標	294.3	464.7	394.3	476.5	449.1
CM(信心圖)	0.433	0.546	0.693	0.212	0.138
關節編號	10	11	12	13	14
	右膝	右腳踝	左腕關節	左膝	左腳踝
X 座標	445.2	×	672.4	421.6	476.5
Y 座標	329.6	×	500.1	525.5	660.6
CM(信心圖)	0.583	×	0.265	0.618	0.717
關節編號	15	16	17	18	19
	右眼	右眼	右耳	左耳	左腳拇指
X 座標	460.8	472.6	×	556.9	413.8
Y 座標	151.3	165.0	×	188.5	684.2
CM(信心圖)	0.103	0.776	×	0.844	0.114
關節編號	20	21	22	23	24
	左腳小指	左腳跟	右腳拇指	右腳小指	右腳跟
X 座標	427.6	496.1	×	×	×
Y 座標	690.0	666.6	×	×	×
CM(信心圖)	0.187	0.619	×	×	×

註：“×”表示為 OpenPose 未偵測到的關節部位之信心圖。

從表 7 中坐姿舉手之關節部位與信心圖數據可觀察圖 15(c)姿勢預測結果，很明顯地，右腕關節座標 $(x_{j9}, y_{j9})=(699.8, 386.4)$ 與右膝關節座標 $(x_{j10}, y_{j10})=(525.5, 345.3)$ 、左腕關節座標 $(x_{j12}, y_{j12})=(739, 460.9)$ 與左膝關節座標 $(x_{j13}, y_{j13})=(507.9, 505.9)$ 。坐姿大腿的部份定義為斜率 $|(386.4-345.3)/(699.8-525.5)|=0.235$  且  $0.235 \leq 1$ ，或 $|(460.9-505.9)/(739-507.9)|=0.194$  且  $0.194 \leq 1$ ，並且脖子座標 $(x_{j1}, y_{j1})=(819.3, 225.8)$ 與中臀座標 $(x_{j8}, y_{j8})=(721.4, 423.6)$ 。坐姿身體的部份定義為距離 $\sqrt{(721.4-819.3)^2+(423.6-225.8)^2}=220.701$  且  $97.9 \leq 110.350$ 。左肩膀座標 $(x_{j5}, y_{j5})=(825.2, 284.5)$ 與左手肘座標 $(x_{j6}, y_{j6})=(686.1, 270.8)$ ，左手舉手定義為 $284.5-270.8=13.7$  且  $13.7 \geq 0.5$ 。而各關節部位與信心圖為 $CM_{j1}=0.353$ 、 $CM_{j5}=0.435$ 、 $CM_{j6}=0.378$ 、 $CM_{j8}=0.285$ 、 $CM_{j9}=0.247$ 、 $CM_{j10}=0.725$ 、 $CM_{j12}=0.276$  與  $CM_{j13}=0.617$ 。

表 7 坐姿舉手之關節部位與信心圖。

關節編號	0 鼻子	1 脖子	2 右肩膀	3 右手肘	4 右手腕
X 座標	684.2	819.3	866.4	×	×
Y 座標	135.6	225.8	167.0	×	×
CM(信心圖)	0.802	0.353	0.248	×	×
關節編號	5 左肩膀	6 左手肘	7 左手腕	8 中臀	9 右髖關節
X 座標	825.2	686.1	490.2	721.4	699.8
Y 座標	284.5	270.8	118.0	423.6	386.4
CM(信心圖)	0.435	0.378	0.744	0.285	0.247
關節編號	10 右膝	11 右腳踝	12 左髖關節	13 左膝	14 左腳踝
X 座標	525.5	515.7	739.0	507.9	502.0
Y 座標	345.3	460.8	460.9	505.9	635.2
CM(信心圖)	0.725	0.553	0.276	0.617	0.636
關節編號	15 右眼	16 左眼	17 右耳	18 左耳	19 左腳拇指
X 座標	×	699.8	×	778.2	435.4
Y 座標	×	129.8	×	180.7	652.8
CM(信心圖)	×	0.795	×	0.832	0.495
關節編號	20 左腳小指	21 左腳跟	22 右腳拇指	23 右腳小指	24 右腳跟
X 座標	453.0	521.6	454.9	456.9	527.4
Y 座標	660.7	643.0	456.9	453.0	462.9
CM(信心圖)	0.531	0.460	0.501	0.461	0.164

註：“×”表示為 OpenPose 未偵測到的關節部位之信心圖。

從表 8 中站姿休息之關節部位與信心圖數據可觀察圖 15(d)姿勢預測結果，很明顯地，右髖關節座標 $(x_{j9}, y_{j9})=(625.4, 390.3)$ 與右膝關節座標 $(x_{j10}, y_{j10})=(623.4, 505.9)$ 。站姿大腿的部份定義為距離 $S_2=\sqrt{(623.4-625.4)^2+(505.9-390.3)^2}=115.617$ 且 $2\leq 57.808$ 並且脖子座標 $(x_{j1}, y_{j1})=(607.8, 63.1)$ 與中臀座標 $(x_{j8}, y_{j8})=(570.5, 406.0)$ 站姿身體的部份定義為距離 $\sqrt{(570.5-607.8)^2+(406.0-63.1)^2}=344.922$ 且 $37.3\leq 172.461$ 。右肩膀座標 $(x_{j2}, y_{j2})=(686.1, 96.5)$ 、右手肘座標 $(x_{j3}, y_{j3})=(641.1, 399.42)$ 與右手腕座標 $(x_{j4}, y_{j4})=(564.7, 478.5)$ 休息定義為 $478.5-399.42=79.08$ 且 $79.08\geq 0.5$ ， $399.42-96.5=302.92$ 且 $302.92\leq 0.5$ 。而各關節部位與信心圖為 $CM_{j1}=0.368$ 、 $CM_{j2}=0.358$ 、 $CM_{j3}=0.316$ 、 $CM_{j4}=0.645$ 、 $CM_{j8}=0.071$ 、 $CM_{j9}=0.091$ 與 $CM_{j10}=0.364$ 。

表 8 站姿休息之關節部位與信心圖。

關節編號	0 鼻子	1 脖子	2 右肩膀	3 右手肘	4 右手腕
X 座標	×	607.8	686.1	641.1	564.7
Y 座標	×	63.1	96.5	399.42	478.5
CM(信心圖)	×	0.368	0.358	0.316	0.455
關節編號	5 左肩膀	6 左手肘	7 左手腕	8 中臀	9 右髖關節
X 座標	525.5	×	×	570.5	625.4
Y 座標	25.9	×	×	406.0	390.3
CM(信心圖)	0.252	×	×	0.071	0.091
關節編號	10 右膝	11 右腳踝	12 左髖關節	13 左膝	14 左腳踝
X 座標	623.4	637.1	527.4	×	×

Y 座標	<b>505.9</b>	658.7	415.8	<b>×</b>	<b>×</b>
CM(信心圖)	<b>0.364</b>	0.544	0.087	<b>×</b>	<b>×</b>
關節編號	15 右眼	16 左眼	17 右耳	18 左耳	19 左腳拇指
X 座標	<b>×</b>	<b>×</b>	719.4	<b>×</b>	<b>×</b>
Y 座標	<b>×</b>	<b>×</b>	4.36	<b>×</b>	<b>×</b>
CM(信心圖)	<b>×</b>	<b>×</b>	0.068	<b>×</b>	<b>×</b>
關節編號	20 左腳小指	21 左腳跟	22 右腳拇指	23 右腳小指	24 右腳跟
X 座標	<b>×</b>	<b>×</b>	547.0	547.1	654.8
Y 座標	<b>×</b>	<b>×</b>	697.8	695.9	668.5
CM(信心圖)	<b>×</b>	<b>×</b>	0.284	0.276	0.424

註：“**×**”表示為 OpenPose 未偵測到的關節部位之信心圖。

從表 9 中站姿舉手之關節部位與信心圖數據可觀察圖 15(e)姿勢預測結果，很明顯地，右腕關節座標 $(x_{j9}, y_{j9})=(578.4, 466.7)$ 與右膝關節座標 $(x_{j10}, y_{j10})=(625.4, 584.3)$ 、左腕關節座標 $(x_{j12}, y_{j12})=(531.4, 502.0)$ 與左膝關節座標 $(x_{j13}, y_{j13})=(590.1, 654.8)$ 。站姿大腿的部份定義為距離 $\sqrt{(625.4 - 578.4)^2 + (584.3 - 466.7)^2} = 126.644$  且  $47 \leq 63.322$  或 $\sqrt{(590.1 - 531.4)^2 + (654.8 - 502.0)^2} = 163.687$  且  $58.7 \leq 81.843$ ，並且脖子座標 $(x_{j1}, y_{j1})=(547.1, 176.8)$ 與中臀座標 $(x_{j8}, y_{j8})=(552.9, 482.4)$ 站姿身體的部份定義為距離 $\sqrt{(552.9 - 547.1)^2 + (482.4 - 176.8)^2} = 305.655$  且  $5.8 \leq 152.827$ 。左肩膀座標 $(x_{j5}, y_{j5})=(511.8, 259.1)$ 與左手肘座標 $(x_{j6}, y_{j6})=(311.9, 170.9)$ ，左手舉手定義為  $259.1 - 170.9 = 88.2$  且  $88.2 \geq 0.5$ 。而各關節部位與信心圖為  $CM_{j1}=0.295$ 、 $CM_{j5}=0.207$ 、 $CM_{j6}=0.175$ 、 $CM_{j8}=0.187$ 、 $CM_{j9}=0.187$ 、 $CM_{j10}=0.194$ 、 $CM_{j12}=0.145$  與  $CM_{j13}=0.101$ 。

表 9 站姿舉手之關節部位與信心圖

關節編號	0 鼻子	<b>1</b> <b>脖子</b>	2 右肩膀	3 右手肘	4 右手腕
X 座標	357.0	<b>547.1</b>	625.4	<b>×</b>	<b>×</b>
Y 座標	67.0	<b>176.8</b>	112.1	<b>×</b>	<b>×</b>
CM(信心圖)	0.577	<b>0.295</b>	0.185	<b>×</b>	<b>×</b>
關節編號	<b>5</b> <b>左肩膀</b>	<b>6</b> <b>左手肘</b>	7 左手腕	<b>8</b> <b>中臀</b>	<b>9</b> <b>右腕關節</b>
X 座標	<b>511.8</b>	<b>311.9</b>	123.9	<b>552.9</b>	<b>578.4</b>
Y 座標	<b>259.1</b>	<b>170.9</b>	39.7	<b>482.4</b>	<b>466.7</b>
CM(信心圖)	<b>0.207</b>	<b>0.175</b>	0.367	<b>0.187</b>	<b>0.187</b>
關節編號	<b>10</b> <b>右膝</b>	11 右腳踝	<b>12</b> <b>左腕關節</b>	<b>13</b> <b>左膝</b>	14 左腳踝
X 座標	<b>625.4</b>	658.8	<b>531.4</b>	<b>590.1</b>	<b>×</b>
Y 座標	<b>584.3</b>	680.2	<b>502.0</b>	<b>654.8</b>	<b>×</b>
CM(信心圖)	<b>0.194</b>	0.491	<b>0.145</b>	<b>0.101</b>	<b>×</b>
關節編號	15 右眼	16 左眼	17 右耳	18 左耳	19 左腳拇指
X 座標	362.9	380.5	<b>×</b>	464.8	<b>×</b>
Y 座標	47.5	69.0	<b>×</b>	110.2	<b>×</b>
CM(信心圖)	0.141	0.579	<b>×</b>	0.807	<b>×</b>
關節編號	20 左腳小指	21 左腳跟	22 右腳拇指	23 右腳小指	24 右腳跟
X 座標	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>	674.4
Y 座標	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>	684.2
CM(信心圖)	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>	<b>×</b>	0.436

註：“**×**”表示為 OpenPose 未偵測到的關節部位之信心圖。

從表 10 中躺姿之關節部位與信心圖數據可觀察圖 15(f)姿勢預測結果，很明顯地脖子座標 $(x_{j1},y_{j1})=(1132.8,549)$ 與中臀座標 $(x_{j8},y_{j8})=(858.6,543.1)$ 躺姿定義為脖子與中臀間斜率 $|(549.0-543.1)/(1132.8-858.6)|=0.021$  且  $0.021 \leq 1$ 。而各關節部位與信心圖為  $CM_{j1}=0.551$  與  $CM_{j8}=0.293$ 。

表 10 躺姿之關節部位與信心圖

關節編號	0 鼻子	1 脖子	2 右肩膀	3 右手肘	4 右手腕
X 座標	1254.3	1132.8	1121.1	1011.3	1058.4
Y 座標	511.8	549.0	466.7	384.4	468.7
CM(信心圖)	0.790	0.551	0.653	0.750	0.751
關節編號	5 左肩膀	6 左手肘	7 左手腕	8 中臀	9 右髖關節
X 座標	1136.7	1007.4	876.2	858.6	862.5
Y 座標	641.1	676.3	643.1	543.1	488.3
CM(信心圖)	0.510	0.478	0.797	0.293	0.293
關節編號	10 右膝	11 右腳踝	12 左髖關節	13 左膝	14 左腳踝
X 座標	648.9	449.1	858.5	701.9	521.6
Y 座標	445.1	511.8	582.3	684.2	596.1
CM(信心圖)	0.677	0.476	0.304	0.453	0.420
關節編號	15 右眼	16 左眼	17 右耳	18 左耳	19 左腳姆指
X 座標	1260.1	1262.1	×	1230.8	400.2
Y 座標	511.8	531.3	×	590.2	625.4
CM(信心圖)	0.510	0.648	×	0.828	0.134
關節編號	20 左腳小指	21 左腳跟	22 右腳姆指	23 右腳小指	24 右腳跟
X 座標	407.9	515.7	392.3	394.3	437.3
Y 座標	629.3	568.6	486.3	486.3	527.5
CM(信心圖)	0.131	0.140	0.230	0.200	0.389

註：“×”表示為 OpenPose 未偵測到的關節部位之信心圖。

## (二)、異常姿勢擷取

異常姿勢可表示緊急事故和意外事件發生，前者不論站姿或是坐姿，舉手表示需要幫忙或是看到身邊的同伴發生狀況請求協助，舉手定義是以右肩膀座標 $(x_{j2},y_{j2})$ 與右手肘座標 $(x_{j3},y_{j3})$ 高度差 $y_{j2}-y_{j3}>0.5$ ，或左肩膀座標 $(x_{j5},y_{j5})$ 與左手肘座標 $(x_{j6},y_{j6})$ 高度差 $y_{j5}-y_{j6}>0.5$ 來判別。而後者為躺姿表示昏迷以及發生嚴重意外，定義脖子座標 $(x_{j1},y_{j1})$ 與中臀座標 $(x_{j8},y_{j8})$ 脖子與腰部間斜率 $m_2=|(y_{j1}-y_{j8})/(x_{j1}-x_{j8})|$ 且 $m_2 \leq 1$ ，以上符合此定義都為異常姿勢。

### 1. 標記異常姿勢

#### (1) 坐姿舉手

圖 16(c)與表 7 坐姿舉手之關節部位，坐姿舉手預測出左肩膀座標(825.2,284.5)與左手肘座標(686.1,270.8)，左手舉手定義為 $284.5-270.8=13.7$ 且 $13.7 \geq 0.5$ 。

#### (2) 站姿舉手

圖 16(e)與表 9 站姿舉手之關節部位，站姿舉手預測出左肩膀座標(511.8,259.1)與左手肘座標(311.9,170.9)，左手舉手定義為 $259.1-170.9=88.2$ 且 $88.2 \geq 0.5$ 。

#### (3) 躺姿



圖 16(f)與表 10 躺姿之關節部位，躺姿預測出脖子座標(1132.8,549.0)與中臀座標(858.6,543.1)，躺姿定義為脖子與中臀間斜率  $0.021=|(549.0-543.1)/(1132.8-858.6)|$ 且  $0.021 \leq 1$ 。

## 2. 撰寫異常姿勢程式

### (1). 坐姿辨識

坐姿左大腿與坐姿右大腿辨識於程式區段 1 之 Line17 所示，脖子與中臀辨識於程式區段 1 之 Line3、Line4、Line5 所示，當程式區段 1 之 Line12 與 Line13 辨識值改變，且不為躺姿標準，就是坐姿。

### (2). 站姿辨識

站姿右大腿辨識於程式區段 1 之 Line6、Line7、Line10 所示，站姿左大腿辨識於程式區段 1 之 Line8、Line9、Line11 所示，當程式區段 1 之 Line13、Line14 或 Line15 預設值改變，且不為躺姿標準，就是站姿。

### (3). 舉半手辨識

舉半手辨識於程式區段 1 之 Line25 所示。

### (4). 舉手辨識

右手舉手辨識定義於程式區段 1 之 Line27 所示，左手舉手辨識於程式區段 1 之 Line28 所示。

### (5). 皆不舉手與舉半手辨識

皆不舉手與舉半手辨識於程式區段 1 之 Line29 所示。

### (6). 躺姿辨識

躺姿辨識於如圖 17(a)所示，於程式區段 1 之 Line34 所示，其情境與偵測顯示如圖 17(b)所示。

### (7). 坐姿休息

坐姿休息辨識於程式區段 1 之 Line36 所示。

### (8). 坐姿舉半手

坐姿舉半手辨識於程式區段 1 之 Line37 所示。

### (9). 坐姿舉手

坐姿舉手辨識於程式區段 1 之 Line38 所示。

### (10). 站姿休息

站姿休息辨識於程式區段 1 之 Line39 所示。

### (11). 站姿舉手

站姿舉手辨識於程式區段 1 之 Line40 所示。

程式區段 1：

```
Line1:doubleRslope = ((coor_y[num][8]-coor_y[num][9])/(coor_x[num][8]-coor_x[num][9]));
Line2:doubleLslope = ((coor_y[num][11]-coor_y[num][12])/(coor_x[num][11]-coor_x[num][12]));
Line3:doublexaxis = pow(coor_x[num][7]-coor_x[num][0],2);
Line4:doubleyaxis = pow(coor_y[num][7]-coor_y[num][0],2);
Line5:double distance = pow(xaxis+yaxis,0.5);
Line6:doubleRslope_xaxis = pow(coor_x[num][9]-coor_x[num][8],2);
Line7:doubleRslope_yaxis = pow(coor_y[num][9]-coor_y[num][8],2);
Line8:doubleLslope_xaxis = pow(coor_x[num][12]-coor_x[num][11],2);
Line9:doubleLslope_yaxis = pow(coor_y[num][12]-coor_y[num][11],2);
Line10:doubleRslope_distance = pow(Rslope_xaxis+Rslope_yaxis,0.5);
Line11:doubleLslope_distance = pow(Lslope_xaxis+Lslope_yaxis,0.5);
Line12:int sittest = 0;
Line13:int sittest1 = 0;
Line14:int Rstation = 0;
Line15:int Lstation = 0;
```

```

Line16:int resttest = 0;
Line17:if((Rslope>= -1 &&Rslope<= 1)||Lslope>= -1 &&Lslope<= 1)sittest=1;
Line18:if(fabs(coor_x[num][7]-coor_x[num][0])<=(distance/2))sittest1 = 1;
Line19:if(fall[num]==0&&sittest==1&&sittest1==1)sit[num]=1;
Line20:if(fabs(coor_x[num][9]-coor_x[num][8])<=(Rslope_distance/2))Rstation = 1;
Line21:if(fabs(coor_x[num][12]-coor_x[num][11])<=(Lslope_distance/2))Lstation = 1;
Line22:if(fall[num]==0 && sittest1==1 && (Rstation==1 || Lstation==1 ))station[num]=1;
Line23:if(coor_y[num][3]==16384 &&coor_y[num][2]==16384 &&coor_y[num][1]==16384){
Line24:}else{
Line25:if(fabs(coor_y[num][1]-coor_y[num][3])<=50 &&coor_y[num][2]-coor_y[num][1]>=0.5)working[num]=1;
Line26:}
Line27:if(coor_y[num][1]-coor_y[num][2]>0.5)righthand[num]=1;
Line28:if(coor_y[num][4]-coor_y[num][5]>0.5)lefthand[num]=1;
Line29:if((coor_y[num][3]-coor_y[num][2])>=0.5 &&coor_y[num][2]-coor_y[num][1]>=0.5) || (coor_y[num][6]-coor_y[num][5])>=0.5
&&coor_y[num][5]-coor_y[num][4])>=0.5)resttest = 1;
Line30:if(working[num]==0 && righthand[num]==0 &&lefthand[num]==0 &&resttest==1)rest[num]=1;
Line31:if(coor_x[num][0]==16384 || coor_x[num][7]==16384 || coor_y[num][0]==16384 || coor_y[num][7]==16384){
Line32:}else{
Line33:double slope = ((coor_y[num][7]-coor_y[num][0])/(coor_x[num][7]-coor_x[num][0]));
Line34:if(slope >= -1 && slope <= 1)fall[num]=1;
Line35:}
Line36:if(sit[num]==1 && rest[num]==1 )sit_rest[num]=1;
Line37:if(sit[num]==1 && working[num]==1 )sit_working[num]=1;
Line38: if((sit[num]==1 && righthand[num]==1) || (sit[num]==1 &&lefthand[num]==1))sit_hand[num]=1;
Line39: if(station[num]==1 && rest[num]==1)station_rest[num]=1;
Line40: if(station[num]==1 && righthand[num]==1 &&lefthand[num]==1)station_hand[num]=1;

```

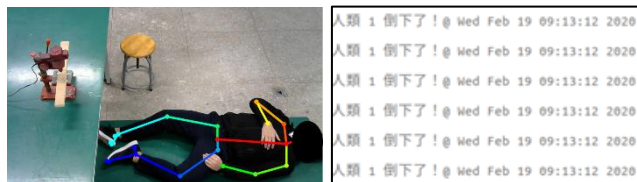


圖 17 異常姿勢辨識。(a)躺姿，(b)偵測顯示畫面。

### 3. 傳送異常姿勢代碼

透過 OpenPose 對於操作者的姿勢進行偵測後，透過 TCP 傳輸技術將姿勢代碼以 UTF-8 編碼格式傳送至後端樹莓派伺服器中，透過後端樹莓派伺服器之姿勢代碼判斷，進行提醒與硬體處理等方式以保障操作者安全。

#### (1). 建立發送端

TCP Socket 之發送端建立，於程式區段 2 之 Line1 所示。

#### (2). 設定發送端地址

發送端之地址設定，於程式區段 2 之 Line2、Line3 與 Line4 所示。

```

程式區段 2：
Line1 : sock = socket( AF_INET,SOCK_STREAM , 0 );
Line2 : clientService.sin_family = AF_INET;
Line3 : clientService.sin_addr.s_addr = inet_addr( "192.168.100.2" );
Line4 : clientService.sin_port = htons( PORT );

```

#### (3). 判斷姿勢

判斷坐姿休息的程式，於程式區段 3 之 Line1 所示。

#### (4). json 資料取樣

透過將 json 檔的資料取樣，以減少後端伺服器處理的負擔，於程式區段 3 之 Line5 所示。

#### (5). 顯示姿勢

將判斷後的姿勢進行顯示，於程式區段 3 之 Line7。

## (6).傳送姿勢代碼

將判斷後的姿勢之姿勢代碼傳送至後端伺服器，於程式區段 3 之 Line8 所示。

```
程式區段 3 :  
Line3 : if (sit_rest[num]==1)  
Line4 : {  
Line5 : if (file_i % 40)==0)  
Line6 : {  
Line7 : printf("人類 %d 坐著休息! @ %s \n", num, ctime(&result));  
Line8 : write(sockfd, "0101", 4);  
Line9 : }
```

## (三)、異常姿勢監控

當接收來自前端伺服器的姿勢代碼後，後端樹莓派伺服器將進行姿勢訊息顯示與警報程式控制硬體電路，並提醒機具操作者，以下逐一說明：

### 1. 架設監控伺服器

#### (1). 建立接收端

TCP Socket 之接收端建立，於程式區段 4 之 Line1 所示。

#### (2). 設定接收端地址

接收端地址設定，於程式區段 4 之 Line2 所示。

#### (3). 設定監聽(最大連線數)

監聽(最大連線數)設定，於程式區段 4 之 Line3 所示。

#### (4). 接收姿勢代碼

接收姿勢代碼，於程式區段 4 之 Line4 所示。

#### (5). 姿勢代碼解碼

將姿勢代碼進行解碼，於程式區段 4 之 Line5 所示。

#### (6). 判斷姿勢代碼

判斷姿勢代碼，於程式區段 4 之 Line6 所示

#### (7). 顯示安全提醒與警示信息

顯示安全提醒與警示信息，於程式區段 4 之 Line7 與 Line8 所示。

#### (8). 硬體電路控制

硬體電路控制，於程式區段 4 之 Line9 至 Line12 所示。

```
程式區段 4 :  
Line1 : sock = socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)  
Line2 : sock.bind((host, port))  
Line3 : sock.listen(backlog)  
Line4 : data = conn.recv(BUFFER_SIZE)  
Line5 : data_decode = data.decode("UTF-8")  
Line6 : if data_decode == '0101':  
Line7 : print("注意: 1 號崗位休息中, 電源已關閉")  
Line8 : print("休息中, 1 號崗位電源關閉")  
Line9 : GPIO.output(7, True)  
Line10 : GPIO.output(11, False)  
Line11 : GPIO.output(12, False)  
Line12 : GPIO.output(13, False)
```



圖 18 後端樹莓派伺服器之姿勢安全提醒與警示信息顯示。

## 2. 製作硬體電路

經由接收到的訊息來控制蜂鳴器、指示燈與電源處理，來達到即時意外事件發生時的緊急處理，我們將樹莓派輸出訊號控制繼電器如圖 19(a)所示，藉此控制固態電驛，而固態電驛能夠控制蜂鳴器、指示燈以及電源的輸出如圖 19(b)。圖 20(a)預測坐姿休息與圖 20(d)預測站姿休息為顯示綠燈亮與電源關閉，圖 20(b)預測坐姿舉半手為顯示綠燈亮與電源開啟，圖 20(c)預測坐姿舉手與圖 20(e)預測站姿舉手為黃燈亮以及電源關閉表示問題異常姿勢；而圖 20(f)預測躺姿為紅燈亮、蜂鳴器響與電源關閉表示意外異常姿勢。

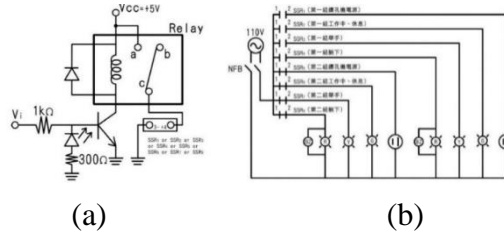


圖 19 警報與處理。(a)固態電驛電路控制圖，(b)指示燈與鑽孔機電路控制圖。

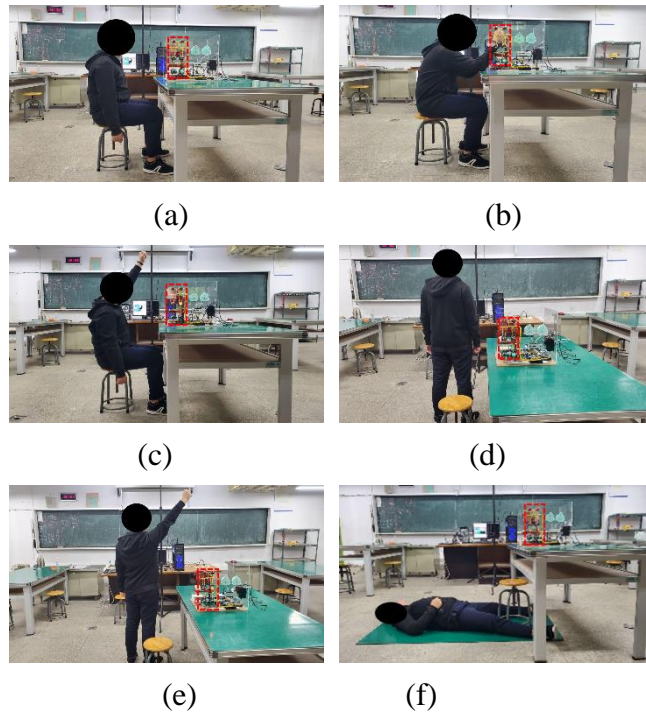


圖 20 硬體製作結果。(a)坐姿休息，(b)坐姿舉半手，(c)坐姿舉手，(d)站姿休息，(e)站姿舉手，(f)躺姿。

## 柒、問題與討論

**問題一：**架設 OpenPose 多人即時辨識情境姿勢系統時，需安裝 CMake，但在安裝的過程中，因 Ubuntu 版本以及 CMake 網站提供版本不同，導致 CMake 中無法驅動 OpenSSL。

**解決方法：**至 OpenSSL 的網站尋找安裝程序之指令，並在終端機(Terminal)命令列中進行執行，並安裝 OpenSSL 完畢後再執行 CMake 的安裝。

**問題二：**多人即時辨識操作者之情境姿勢時，常造成影像預測反應較慢。



**解決方法：**由於多人即時辨識情境姿勢時，不但計算身體關節部位數目會倍增，且需考慮關節部位間連結性，尤其是當二人身體間距離過近時會造成與他人關節部位親和性變大，以致所需計算與他人關節部位之最佳化親和性時間加長，所以實驗時儘量加強硬體計算等級與排除不必要的操作者。

**問題三：**影像中人的站姿與關節部位拍攝位置，導致關節部位信心圖(Confidence Map)下降問題。

**解決方法：**

由於 OpenPose 關節部位擷取是以樹枝狀進行關節部位連接，若因某些關節部位未被偵測或不明確，則會造成信心度降低，甚至影響肢體與姿勢完整性。我們藉由不同拍攝角度來觀察關節部位信心圖(Confidence Map)，可發現紙體被偵測到關節部位越多，信心圖取線分布愈接近 1，但當關節部位拍攝的部分較少時，會有偵測不到或是信心圖較低的問題。在此，調整不同拍攝角度的方式進行偵測如圖 21 所示，其對應信心圖如圖 22 所示。

根據圖 21 進行研究與探討，於圖 21(a)中在斜站上半身，可從圖 21(a)觀察沒偵測到的關節部分信心圖為 0，而其他被拍攝且偵測到的關節部位信心圖均達 0.6 以上。而圖 22(b)只偵測到斜站下半身，所以圖 22(b)信心度比圖 22(a)相對低，而圖 22(c)斜站全身中除了第 17 關節部分未被偵測外其他部分都被偵測到，這也使圖 22(c)信心圖中的結果大部份關節部位大於 0.8。

經由斜站的實驗後，我們改為正站姿實驗如圖 21(d)、圖 21(e)與圖 21(f)所示，其對應的信心度如圖 22(d)、圖 22(e)與圖 22(f)所示，其信心度比斜站稍好，其主要原因是身體遮蔽現象較少，其中圖 21(f)正站姿全身關節部位之信心度皆大於 0.65 以上且大部份大於 0.8。而圖 21(g)、圖 21(h)與圖 21(i)分別為側站上半身、側站下半身與側站全身，其對應的信心度如圖 22(g)、圖 22(h)與圖 22(i)所示，我們可觀察側站造成身體遮蔽更為嚴重，特別是側站全身如圖 22(i)中信心度下降。

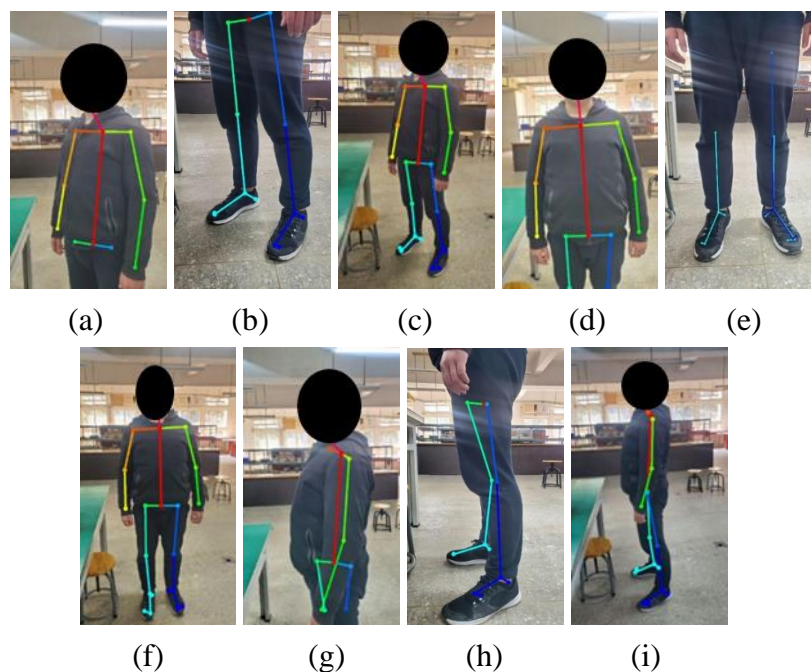


圖 21 各式站姿及關節點擷取。(a)斜站上半身，(b)斜站下半身，(c)斜站全身，(d)正站上半身，(e)正站下半身，(f)正站全身，(g)側站上半身，(h)側站下半身，(i)側站全身。

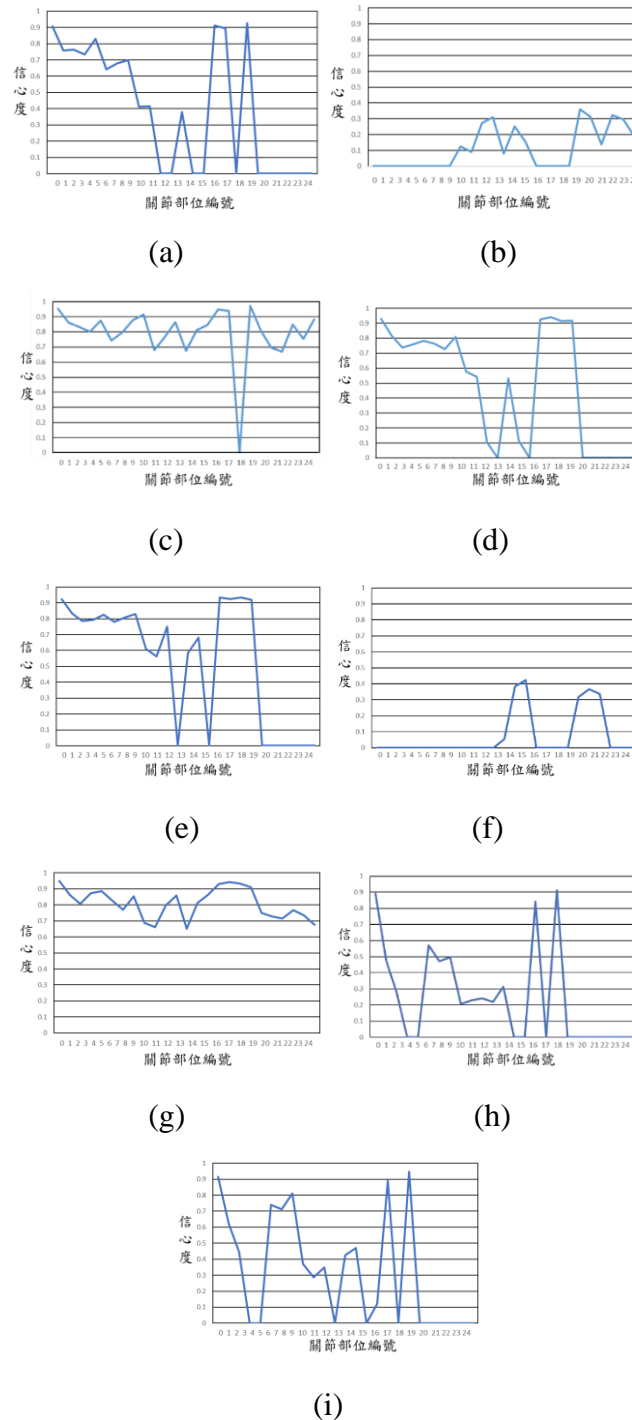


圖 22 各式站姿及關節點擷取與信心圖關係。(a)斜站上半身，(b)斜站下半身，(c)斜站全身，(d)正站上半身，(e)正站下半身，(f)正站全身，(g)側站上半身，(h)側站下半身，(i)側站全身。

**問題四：**正確二維影像不易定義，造成實際正確情境姿勢難以取得。

**解決方法：**單機攝影機若要正確取得二維影像，攝影機需要且具有廣角功能，如此方可將操作者使用鑽孔機時情境姿勢予以合適取得，但本研究因初步研究階段，尚無此功能攝影機，所以祇能調整合適攝影機架設距離、高度與角度三個參數。再者，每次實驗時需固定攝影機

三個參數以求實驗的重複性，雖然有些情境姿勢之關節部位(Part)與肢體(Limb)無法完全獲得，不過已具有概要姿勢辨識效果。

**問題五：**無法辨識操作者手指姿勢。

**解決方法：**由於目前 OpenPose 辨識情境姿勢系統以 BODY\_25 關節部位為主，故祇能預測多人身體中 25 個關節部位(Part)與 24 個肢體(Limb)，因此並無法預測手指姿勢，也就是做到手指關節操作之異常姿勢辨狀態是有困難的，所以本研究有關手部關節操作祇規劃手臂與手腕動作，基本上已達到效果。

**問題六：**正常姿勢與異常姿勢辨識定判斷困難。

**解決方法：**正常姿勢與異常姿勢辨識需要依據不同機具之操作者使用情境來規劃，本研究由於是以小型鑽孔機為範例，所以常發生因姿勢間差異性太小無法有效區別，特別是舉手與舉半手時較為明顯，將姿勢間差異性加大則可降低此問題。再者，由於本研究判斷情境姿勢時是以關節部位間關節部位間斜率、座標差與距離表示，若調整合適斜率、座標差與距離之誤差值則可得到較好效果。

**問題七：**5 個關節部位(Part)與 24 個肢體(Limb)辨識判斷錯誤，誤將桌腳或鑽孔機等當做身體一部分。

**解決方法：**OpenPose 辨識情境姿勢系統並不包括物體辨識，若發生物體為身體關節部位與個肢體時，我們可先降低工作環境背景干擾，以減少錯誤辨識。再者，可依關節部位活動性來辨識偵測的影像是否為工作環境之物體誤判。

**問題八：**若物體具有類似人體特徵，導致偵測出骨骼影像，因此造成姿勢辨識誤判。

**解決方法：**收集物體和人體的關節部位座標、信心圖與資料量，再根據以上資料做人體和物體的判斷，達到先判斷是否為人體，再做姿勢辨識。

**問題九：**辨識多人姿勢時，眼睛、耳朵、鼻子等關節部位與肢體，造成身體左手、右手、左腳、右腳的關節部位與肢體，偵測時會有左右相反的問題如圖 16(d)所示。

**解決方法：**多人姿勢辨識時調整拍攝角度以及人的位置眼睛、耳朵、鼻子關節部位與肢體要在畫面上顯示，讓身體部位有穩定的方向性，保持正確方向偵測人體關節部位與肢體。

**問題十：**OpenPose 辨識後每秒可產生 14 至 15 個關節部位的 json 檔，如此會導致姿勢辨識計算時間過長，與 TCP 傳輸延遲以及樹莓派伺服器負擔過重。

**解決方法：**由於我們對於異常姿勢的判斷僅需每秒一次，所以對產生的 json 檔僅需每秒取樣一次，以減少姿勢辨識計算時間與 TCP 的傳輸量。

## 捌、結論與未來展望

### 一、結論

根據以上研究結果，證明將 OpenPose 應用於機具操作安全之想法具有可行性，雖然目前以鑽孔機操作情境來探討，但已看出本研究上具有即時觀察操作者工作情境姿勢與異常姿勢並可進行硬體控制，其系統功能包含如下：

(一)、本研究成功架設 OpenPose 多人即時辨識情境姿勢系統，此系統可預測多人身體中 25 個關節部位(Part)與 24 個肢體(Limb)，因此可將它應用於工程領域之人員情境姿勢，以方便預測工作場合中每個操作者姿勢概要狀況，並建立工作模式資料。



- (二)、本研究以操作鑽孔機情境姿勢做為範例，利用關節部位間斜率、座標差與距離來定義各種情境姿勢，內容包括坐姿休息、坐姿工作、坐姿舉手、站姿休息、站姿舉手與躺姿共 6 種情境。
- (三)、利用各種姿勢之特徵關節部位來分析正常姿勢與異常姿勢差別，本研究將坐姿舉手、站姿舉手與躺姿列為異常姿勢，並利用程式判斷鑽孔機操作者是否發生異常姿勢，以達到自動偵測緊急事件或意外發生效果。
- (四)、當後端伺服器接收到來自前端伺服器傳輸的姿勢代碼時，可以即時判斷姿勢代碼並顯示警示訊息，加上與電路配合，控制機具設備與硬體，提醒機具操作者。

綜合以上，此研究首先利用前端 OpenPose 影像辨識伺服器預測鑽孔機操作者之關節部位(Part)與肢體(Limb)，以獲得操作者各種情境姿勢，藉以分析操作者工作情境為何。本研究先建立休息、工作、發問與暈倒共四種情境姿勢模式，以坐姿、坐姿舉半手、坐姿舉手、站姿、站姿舉手與躺姿六種姿勢為表示，並依其情境來探討正常姿勢與異常姿勢。正常姿勢可分為坐姿、站姿與坐姿舉半手，坐姿與站姿是指休息姿勢，坐姿舉半手是指工作姿勢；異常姿勢可分為「問題異常姿勢」與「意外異常姿勢」，問題異常姿勢是指坐姿與站姿舉手的姿勢，而意外異常姿勢是指躺姿。再者，本研究將鑽孔機操作者姿勢予以分類與標記，觀察操作者的姿勢是否為異常行為，當異常姿勢發生時透過，前端伺服器除了將姿勢訊息顯示外，也會透過 TCP 傳輸技術將姿勢代碼進行傳輸，後端樹莓派伺服器接收姿勢代碼並加以判斷，透過姿勢代碼判斷結果，進行警示訊息顯示，並透過電路將機具設備電源關閉，以及將硬體設備驅動，提醒工場管理者與機具操作者。

目前偵測效果為的研究結果，因實驗尚有許多功能需要思考改進，往後將繼續努力研究，包括建立適合攝影機架設參數、增加更多操作者情境姿勢、更準確有效偵測異常姿勢、攝影機的架設數目與角度以及更多人情境姿勢偵測。再者，以本研究異常姿勢偵測為基礎應用於更多機具操作之安全異常姿勢偵測，將是我們要戮力不懈的目標。

## 二、未來展望

### (一)、物體判斷

OpenPose 的主要目的是多人即時偵測骨骼影像，因此，判斷人體以及物體上就沒有清楚的條件限制，雖然經由 CNN 捲積神經網路來判斷人體，但只要物體具有類似人體特徵，導致關節部位和肢體判斷錯誤如圖 23 所示。

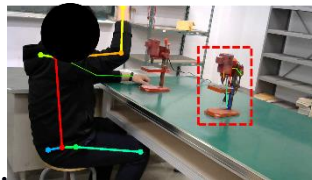


圖 23 關節部位判斷錯誤物體圖。

為了解決上述問題，因物體固定與人體移動有差異性，所以可由偵測出關節部位和肢體資料變動可觀察出。如圖 24 取得偵測物體與人體之關節部位和肢體的資料，資料包含 X 軸座標、Y 軸座標與信心圖(CM, Confidence Map)，以及觀察相同偵測時間的變化量，並且根據資料計畫判斷物體條件，經由此條件來撰寫程式，並對物體不做姿勢辨識，解決物體偵測出關節部位和肢體，造成姿勢辨識誤判的問題，判斷物體研究架構如圖 24 所示。

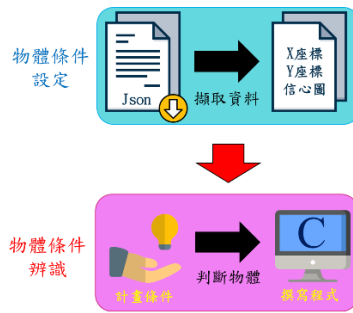


圖 24 判斷物體研究架構。

## (二)、利用多監控角度改善人體遮蔽問題

在研究中我們發現，人體重疊面積過大時，會導致遮蔽而辨識不到人體關節部位的問題，透過架設第二台前端伺服器進行其他拍攝角度的設置。將兩個 Client 端連結至一個 Server 端的形式，將不同角度的拍攝結果以一台後端樹莓派伺服器進行整合，並藉由判斷姿勢代碼將硬體進行控制，達成多監控角度改善人體遮蔽研究架構如圖 25 所示。

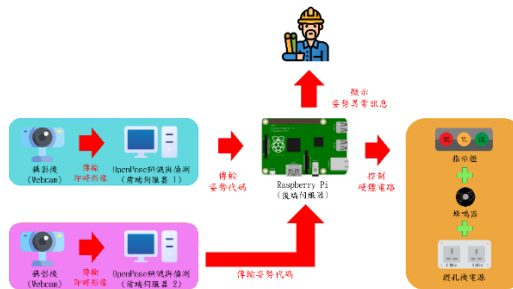


圖 25 多監控角度改善人體遮蔽研究架構。

## 玖、參考資料

- [1] 國際勞動統計-職業災害統計分析，勞動部，<https://www.mol.gov.tw/statistics /2452/2457/>。
- [2] 勞動部職業安全衛生署，<https://www.osha.gov.tw/1106/1196/10141/10157/>。
- [3] 104 年度全國重大職業災害實例摘要彙編(危險性機械)，勞動部職業安全衛生署，106 年。
- [4] 推展機械設備器具危害風險評估技術危害鑑別及風險管控教育訓練課程教材，勞動部職業安全衛生署。
- [5] 工具機安全—鑽孔機，勞動部勞動及職業安全衛生研究所，2002 年 2 月。
- [6] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所，<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1204/sdss008t0074-作業點的安全防護近接感應裝置。>
- [7] 結合感測器、大數據及 AI 演算法打造自主化主軸，國立中正大學，[https://www.ccu.edu.tw/new\\_content\\_demo.php?type=newspaper&id=21267](https://www.ccu.edu.tw/new_content_demo.php?type=newspaper&id=21267)。
- [8] 即時人臉偵測與辨識，李建興，林應璞，游凱倫，國立成功大學系統及船舶機電工程學系技術學刊第二十四卷第二期民國九十八年131，2009。
- [9] Stephen Balaban, “Lambda Labs Deep learning and face recognition: the state of the art,” in CV, 2019.
- [10] P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher, “Pictorial structures for object recognition,” in IJCV, 2005.
- [11] D. Ramanan, D. A. Forsyth, and A. Zisserman, “Tracking people by finding stylized poses,”



in CVPR, 2005.

- [12] M. Andriluka, S. Roth, and B. Schiele, "Monocular 3D pose estimation and tracking by detection," in CVPR, 2010.
- [13] <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>.
- [14] Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei, and Y. Sheikh, "Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields," in CVPR, 2017.
- [15] Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shih-En Wei, and Yaser Sheikh, "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields," IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 2019.
- [16] Gines Hidalgo, Yaadhav Raaj, Haroon Idrees, Donglai Xiang, Hanbyul Joo, Tomas Simon, and Yaser Sheikh, "Single-Network Whole-Body Pose Estimation," in ICCV, 2019.
- [17] <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose/blob/master/doc/installation.md>.
- [18] Dawson, Ray. 2019. "Programming in ANSI C". figshare. <https://hdl.handle.net/2134/10054>.
- [19] <https://gitlab.kitware.com/cmake/cmake>.
- [20] <https://developer.nvidia.com/cuda-zone>.
- [21] <https://developer.nvidia.com/cudnn>.
- [22] <https://opencv.org/opencv-hackathon-is-coming/>.
- [23] <https://github.com/BVLC/caffe>.
- [24] Raspberry Pi 樹莓派從不懂到玩上手, 陳會安, 旗標, 2017年6月。
- [25] Python 程式設計入門指南, Y. Daniel Liang 著/蔡明志譯, 基峯, 2018年9月。
- [26] Peter Anderson, "Bottom-Up and Top-Down Attention for Image Captioning and Visual Question Answering," in CV, 2018.
- [27] L. Pishchulin, E. Insafutdinov, S. Tang, B. Andres, M. Andriluka, P. Gehler, and B. Schiele, "Joint subset partition and labeling for multi person pose estimation," in CVPR, 2016.
- [28] E. Insafutdinov, L. Pishchulin, B. Andres, M. Andriluka, and B. Schiele, "DeepCUT: A deeper, stronger, and faster multi-person pose estimation model," in ECCV, 2016.
- [29] H.-S. Fang, S. Xie, Y.-W. Tai, and C. Lu, "RMPE: Regional multi-person pose estimation," in ICCV, 2017.
- [30] <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose/blob/master/doc/output.md>.
- [31] [https://cmu-perceptual-computing-lab.github.io/foot\\_keypoint\\_dataset/](https://cmu-perceptual-computing-lab.github.io/foot_keypoint_dataset/).
- [32] 深度學習之識別及最佳化, 焦李成, 佳魁數位, 2018。
- [33] S.-E. Wei, V. Ramakrishna, T. Kanade, and Y. Sheikh, "Convolutional pose machines," in CVPR, 2016.
- [34] Alexander Toshev and Christian Szegedy, "Human Pose Estimation via Deep Neural Networks," in CV, 2014.
- [35] Jonathan Tompson, Ross Goroshin, Arjun Jain, Yann LeCun, and Christoph Bregler, "Efficient Object Localization Using Convolutional Networks," in CV, 2015.
- [36] [https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose\\_train](https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose_train).

## 【評語】 052312

本作品從工安角度去探討操作安全的監控問題，具實用性與可行性。其內容包括建立操作情境、即時辨識、顯示警告與緊急處理。對於 OpenPose 的姿勢定義，透過樹莓 Pi 收集量化數據和分析操作機具時候可能有的情境動作、異常狀況，定義很清楚，可以降低職災或是透過偵測系統降低職災發生情形，目前可能受限於應用情境，以現有資料庫來判別本議題情境需求之姿態似有不足，常有誤判產生。建議以 transfer learning，以現有資料為基礎，增列情境需求的姿態來進一步訓練，應可提高姿態辨識成功率。



# 壹、研究動機

勞工常因不熟悉工作環境與注意力不集中所導致傷亡[1]，藉由觀察工作人員的工作環境與姿勢，結合美國卡內基美隆大學的OpenPose技術[2]進而衍生實現即時偵測將異常姿勢進行即時控制硬體設備警示工作人員以及姿勢訊息提醒工場管理者，並達成智動化監控安全這項構思。

# 貳、研究目的

- 一、利用前端伺服器之OpenPose骨骼影像辨識系統即時偵測操作者之身體關節部位與肢體姿勢。
- 二、利用關節部位間幾何運算之斜率、座標差與距離來定義各種情境姿勢並分析操作者的工作姿勢模式並建立工作模式資料。
- 三、於前端伺服器有效設計取樣圖片速率來偵測各類工作情境姿勢，並產生其姿勢代碼。
- 四、利用TCP傳輸技術將前端伺服器偵測後所產生的姿勢代碼，傳輸至後端樹莓派伺服器，並由後端樹莓派伺服器的進行判斷與控制，當發生職災意外時，系統可控制硬體之警示裝置與切斷電源系統。

# 參、原理與實驗規劃

## 一、原理

### (一).卷積神經網路(CNN)[3]

利用偵測人體的特徵能夠辨識人體與非人體，形成關節部位區域，進而提高學習與診斷效率。



卷積神經網路(CNN)流程圖

### (二).關節部位親和場(PAF)與關節部位信心度(CM)

#### 1.辨識人體姿勢[4]

##### (1).底-頂法(Bottom-Up approach)

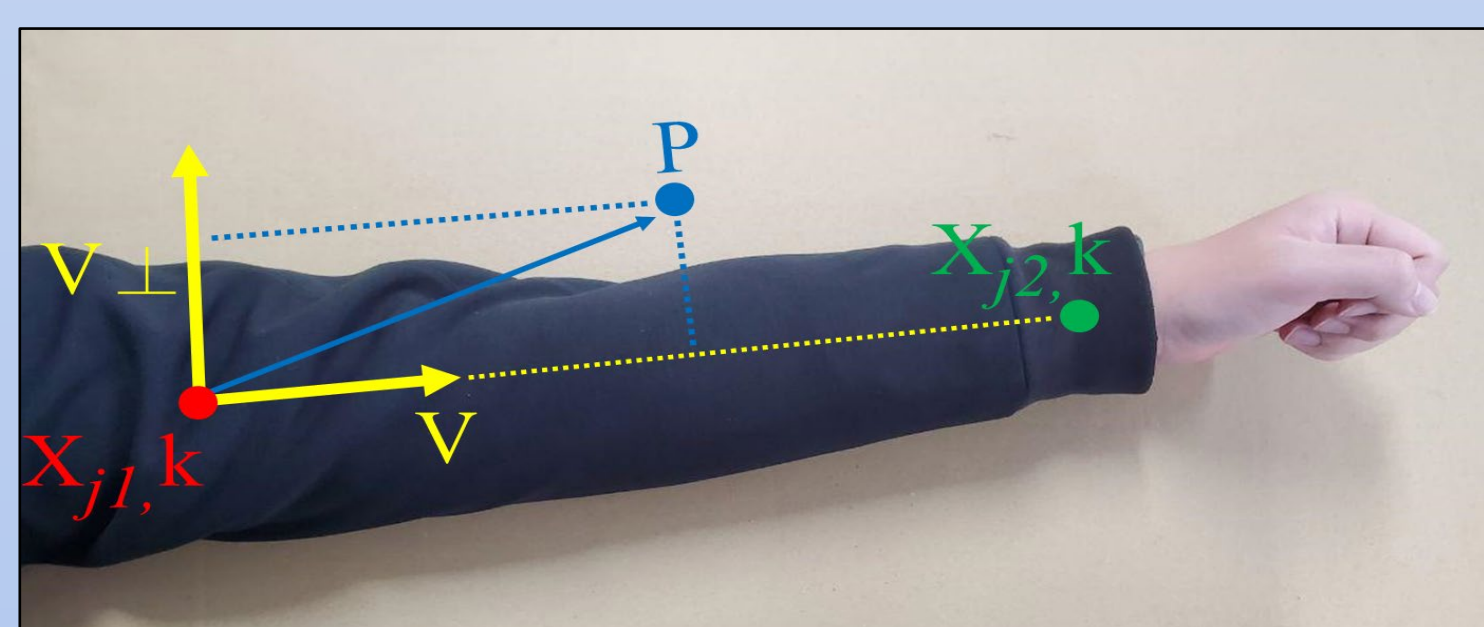
先偵測圖片中人的關節部位區域，再將關節部位連結起來並計算人的姿勢與位置。

BODY\_25 資料庫關節部位編號表[4]

編號	關節部位	編號	關節部位	編號	關節部位	編號	關節部位
0	鼻子	1	脖子	2	右肩膀	3	右手肘
4	右手腕	5	左肩膀	6	左手肘	7	左手腕
8	中臀	9	右髖關節	10	右膝	11	右腳踝
12	左髖關節	13	左膝	14	左腳踝	15	右眼
16	左眼	17	右耳	18	左耳	19	左腳姆指
20	左腳小指	21	左腳跟	22	右腳姆指	23	右腳小指
24	右腳跟	25	背景				

## 2.真實關節部位親和場與親和場預測

兩個關節部位之間的單位向量 $v$ 為式(1)，式(2)當像素 $p$ 在肢體上時， $L_{c,k}^*$ 為第 $k$ 人之第 $c$ 肢體之真實關節部位親和場為關節部位之單位向量 $v$ ，否則為零。 $L_c^*$ 為第 $c$ 肢體之所有人真實親和場的平均值，在此當作學習親合場之成本函數參考值如式(3)，式(4)為 $E$  量化關節部位之連結性，演算過程中將以內差法求得數個像素 $p$ 位置如式(5)。



真實關節部位親和場圖

$$v = \frac{x_{j2,k} - x_{j1,k}}{|x_{j2,k} - x_{j1,k}|} \quad (1)$$

$$L_{c,k}^*(p) = \begin{cases} v, & \text{if } p \text{ on connection } c, k \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

$$L_c^*(p) = \frac{1}{n_c(p)} \sum_k L_{c,k}^*(p) \quad (3)$$

$$E = \int_{u=0}^{u=1} L_c(p(u)) \cdot \frac{d_{j2,k} - d_{j1,k}}{|d_{j2,k} - d_{j1,k}|} du \quad (4)$$

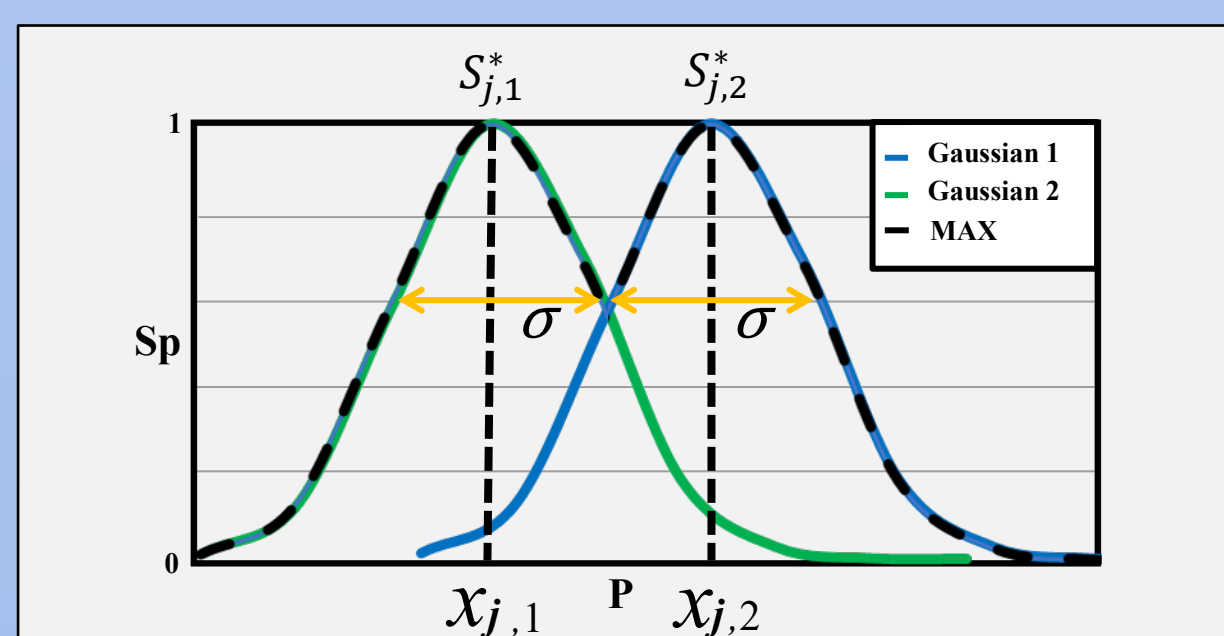
$$p(u) = (1-u)d_{j1,k} + ud_{j2,k} \quad (5)$$

## 3.真實關節部位信心度計算

真實值關節部位高斯分佈如式(6)所示，式(7)是從所有人中之第 $j$ 關節部位取其最大值當作學習信心度之成本函數參考值。

$$S_{j,k}^*(p) = \exp\left(-\frac{\|p - x_{j,k}\|^2}{\sigma^2}\right) \quad (6)$$

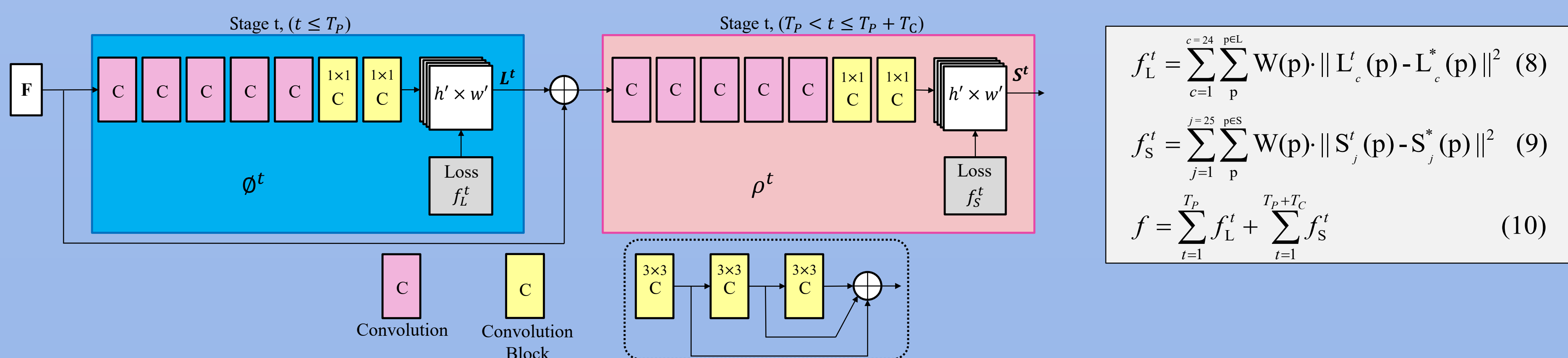
$$S_j^*(p) = \max_k S_{j,k}^*(p) \quad (7)$$



真實關節部位信心度圖

## 4.OpenPose基本架構

親和場之成本函數如式(8)，信心度之成本函數如式(9)，總成本函數如式(10)，如果預測值對真實值誤差小，就能做收斂，表示學習完成，而預測過程中不需再計算成本函數，因此為監督式學習。



OpenPose的基本架構之單支節學習架構圖

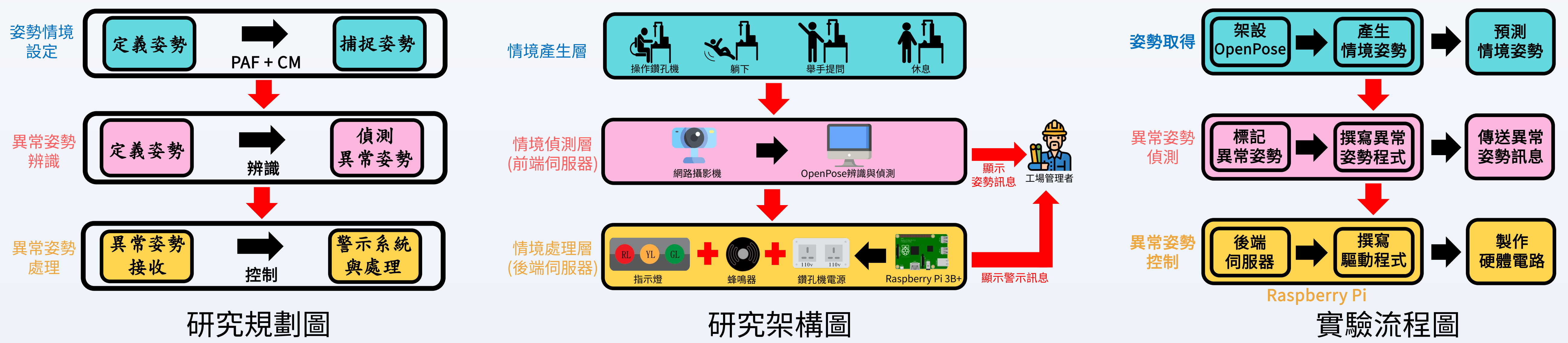


## 二、研究規劃

### (一).研究架構

研究規劃依序為姿勢情境設定、異常姿勢辨識、異常姿勢處理，其研究架構如下所示：

- 1.情境產生層：**工作人員操作小型鑽孔機。
- 2.情境偵測層：**由攝影機拍攝操作過程傳輸至前端伺服器進行控制與傳輸。
- 3.情境處理層：**後端伺服器控制指示燈、蜂鳴器和鑽孔機電源，並顯示求救訊息。



### (二).姿勢情境設定

依據操作鑽孔機情境定義出六種情境姿勢，並且以六種姿勢擬定出鑽孔機操作情境表如下：

#### 1.坐姿

大腿定義為斜率  $m_{r1} = |(y_{j9}-y_{j10})/(x_{j9}-x_{j10})|$  且  $m_{r1} \leq 1$ ，或者  $m_{l1} = |(y_{j12}-y_{j13})/(x_{j12}-x_{j13})|$  且  $m_{l1} \leq 1$ 。

身體定義為距離  $S_1 = \sqrt{(x_{j8}-x_{j1})^2 + (y_{j8}-y_{j1})^2}$  且  $|x_{j8}-x_{j1}| \leq S_1/2$ 。

#### 2.站姿

任一大腿定義為距離  $S_{r2} = \sqrt{(x_{j10}-x_{j9})^2 + (y_{j10}-y_{j9})^2}$  且  $|x_{j10}-x_{j9}| \leq S_{r2}/2$ ，

或者  $S_{l2} = \sqrt{(x_{j13}-x_{j12})^2 + (y_{j13}-y_{j12})^2}$  且  $|x_{j13}-x_{j12}| \leq S_{l2}/2$ ，身體定義為距離  $S_3 = \sqrt{(x_{j8}-x_{j1})^2 + (y_{j8}-y_{j1})^2}$  且  $|x_{j8}-x_{j1}| \leq S_3/2$ 。

#### 3.躺姿

躺姿定義為脖子與中臀間斜率  $m_2 = |(y_{j1}-y_{j8})/(x_{j1}-x_{j8})|$  且  $m_2 \leq 1$ 。

鑽孔機操作情境表

情境	姿勢	姿勢辨識	姿勢代碼	硬體電路處理
情境1	坐姿休息	休息姿勢	01	綠燈亮，鑽孔機電源OFF
情境2	坐姿舉半手	工作姿勢	02	綠燈亮，鑽孔機電源ON
情境3	坐姿舉手	問題異常姿勢	03	黃燈亮，鑽孔機電源OFF
情境4	站姿休息	休息姿勢	04	綠燈亮，鑽孔機電源OFF
情境5	站姿舉手	問題異常姿勢	05	黃燈亮，鑽孔機電源OFF
情境6	躺姿	意外異常姿勢	06	紅燈亮，蜂鳴器ON，鑽孔機電源OFF

## 肆、實驗過程與結果

依據上述規劃，以姿勢情境設定、異常姿勢辨識、異常姿勢處理，得出以下六種姿勢的實驗過程與結果，並進行討論。

### 一、坐姿休息

**關節部位與信心度表**

關節編號	1	5	6
脖子	816.7	943.1	928.5
X座標	294.5	454.7	605.4
Y座標	0.872	0.613	0.640
CM(信心度)	7	9	9
關節編號	7	8	9
左手腕	860.5	816.7	792.5
X座標	722.0	581.1	547.0
Y座標	0.801	0.587	0.612
CM(信心度)	7	9	9
關節編號	10	12	13
右膝	661.2	836.2	683.1
X座標	561.6	622.4	661.2
Y座標	0.778	0.544	0.698
CM(信心度)	7	9	9

### 二、坐姿舉半手

**關節部位與信心度表**

關節編號	1	2	3
脖子	829.7	844.4	651.7
X座標	388.3	322.4	400.5
Y座標	0.563	0.429	0.773
CM(信心度)	8	9	10
關節編號	4	8	9
右手腕	527.3	861.5	832.2
X座標	359.0	605.4	566.4
Y座標	0.791	0.330	0.239
CM(信心度)	8	9	10
關節編號	10	12	13
右膝	676.1	881.0	673.7
X座標	563.9	637.1	671.3
Y座標	0.170	0.458	0.648
CM(信心度)	8	9	10

### 三、坐姿舉手

**關節部位與信心度表**

關節編號	1	5	6
脖子	897.1	829.9	695.6
X座標	386.8	446.8	556.6
Y座標	0.556	0.630	0.762
CM(信心度)	8	9	10
關節編號	4	8	9
右手腕	792.6	765.8	605.5
X座標	527.3	861.5	832.2
Y座標	359.0	605.4	566.4
CM(信心度)	0.603	0.620	0.469
關節編號	12	13	13
左膝	816.8	656.4	673.7
X座標	627.3	663.8	671.3
Y座標	0.562	0.762	0.648
CM(信心度)	8	9	10

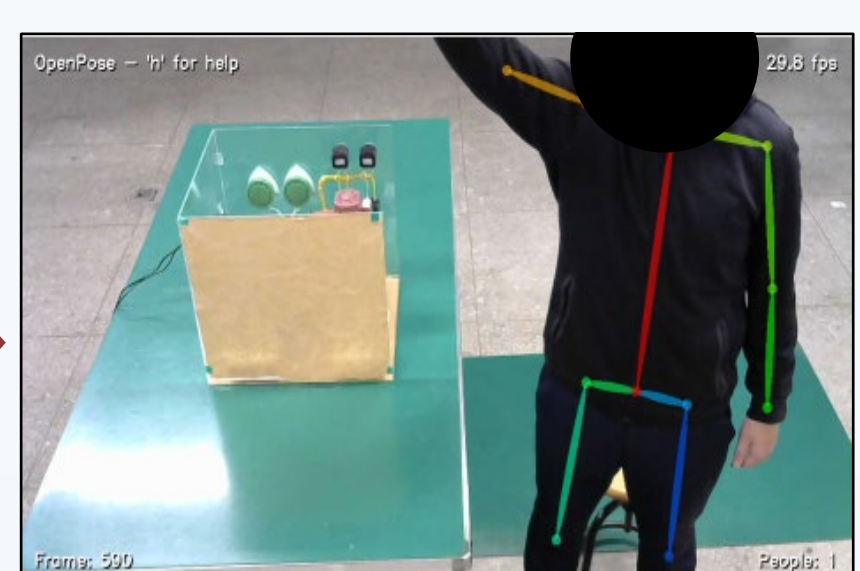
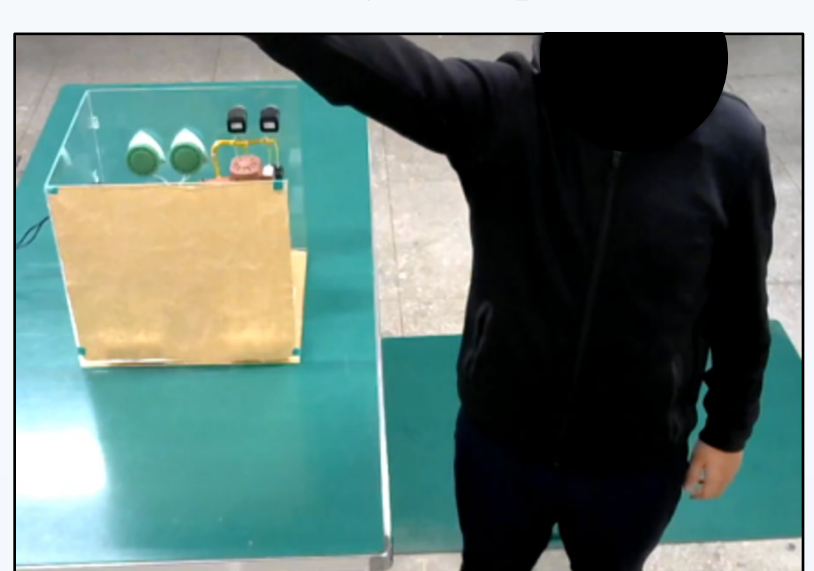
### 四、站姿休息

**關節部位與信心度表**

關節編號	1	2	3
脖子	884.1	710.8	652.2
X座標	193.3	198.2	464.3
Y座標	0.668	0.543	0.495
CM(信心度)	8	9	10
關節編號	4	8	9
右手腕	657.2	857.3	757.2
X座標	642.5	640.0	644.9
Y座標	0.765	0.354	0.338
CM(信心度)	8	9	10
關節編號	10	12	13
右膝	742.5	891.5	644.9
X座標	851.5	891.5	644.9
Y座標	0.179	0.179	0.179
CM(信心度)	8	9	10



## 五、站姿舉手

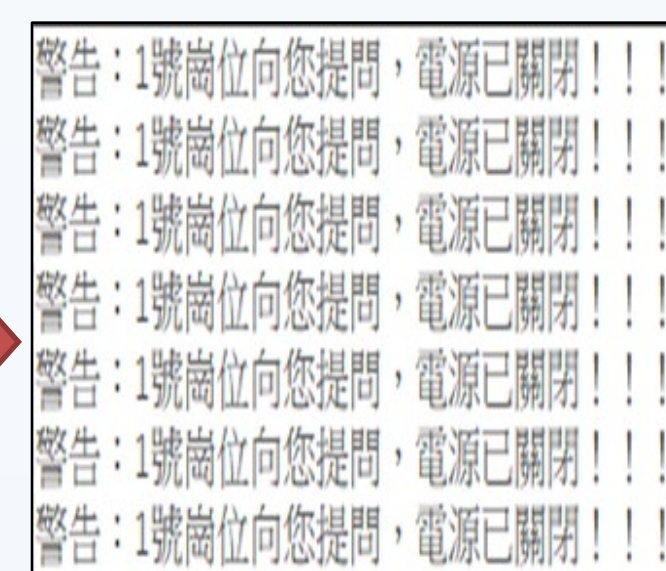


關節部位與信心度表

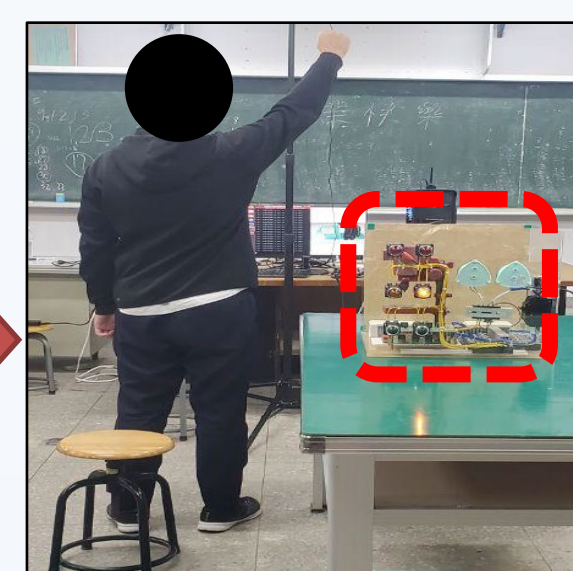
關節編號	1	5	6
X座標	978.1	1158.1	1175.2
Y座標	197.4	229.1	499.0
CM(信心度)	0.678	0.487	0.427
關節編號	8	9	10
X座標	895.5	798.2	764.1
Y座標	686.3	681.4	888.2
CM(信心度)	0.335	0.353	0.074
關節編號	12	13	
X座標	992.7	949.0	
Y座標	705.8	63.6	
CM(信心度)	0.287	0.834	



顯示姿勢訊息

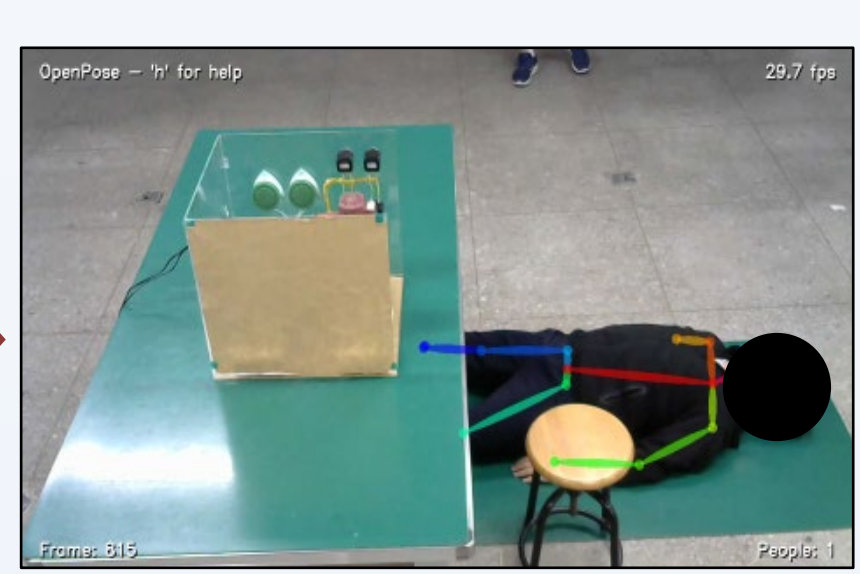
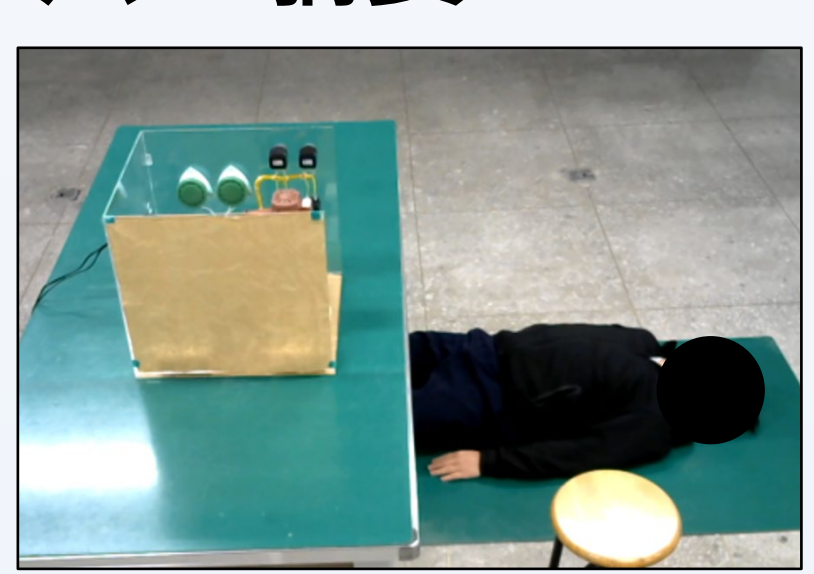


顯示警示訊息



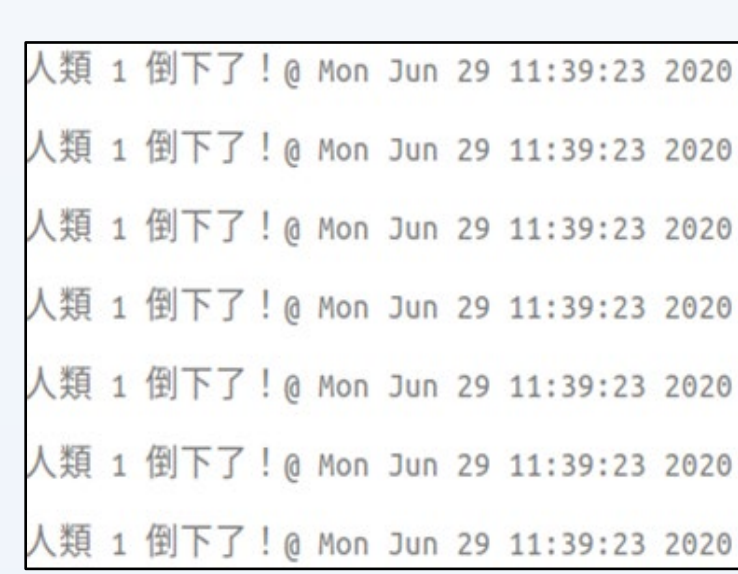
控制硬體電路

## 六、躺姿

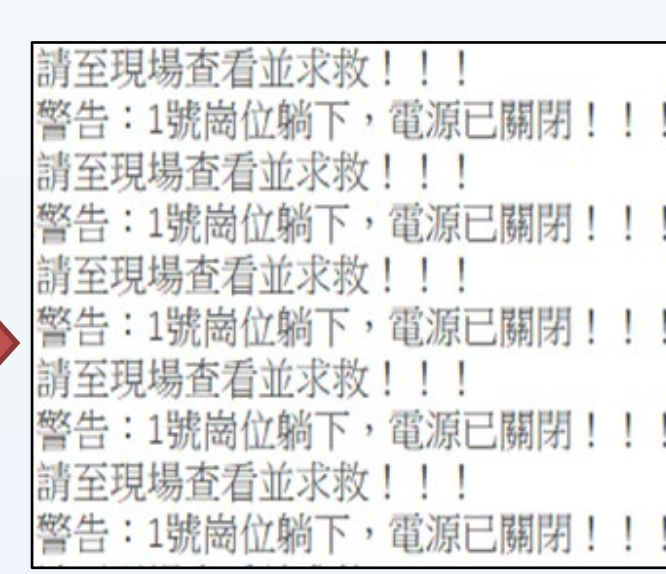


關節部位與信心度表

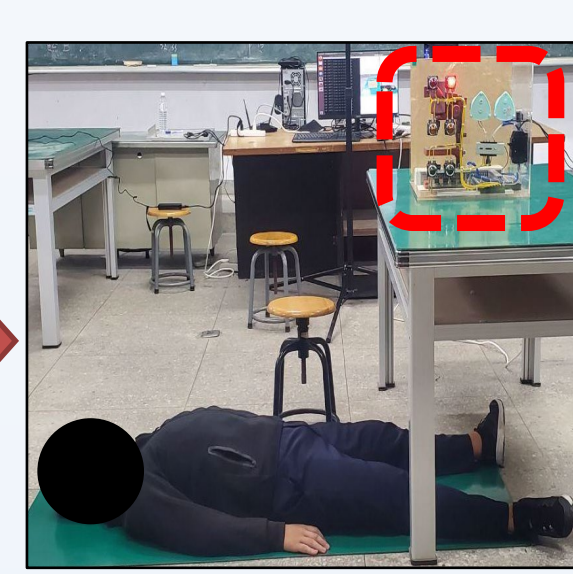
關節編號	1	8
X座標	1118.2	819.3
Y座標	573.9	598.2
CM(信心度)	0.620	0.182



顯示姿勢訊息



顯示警示訊息

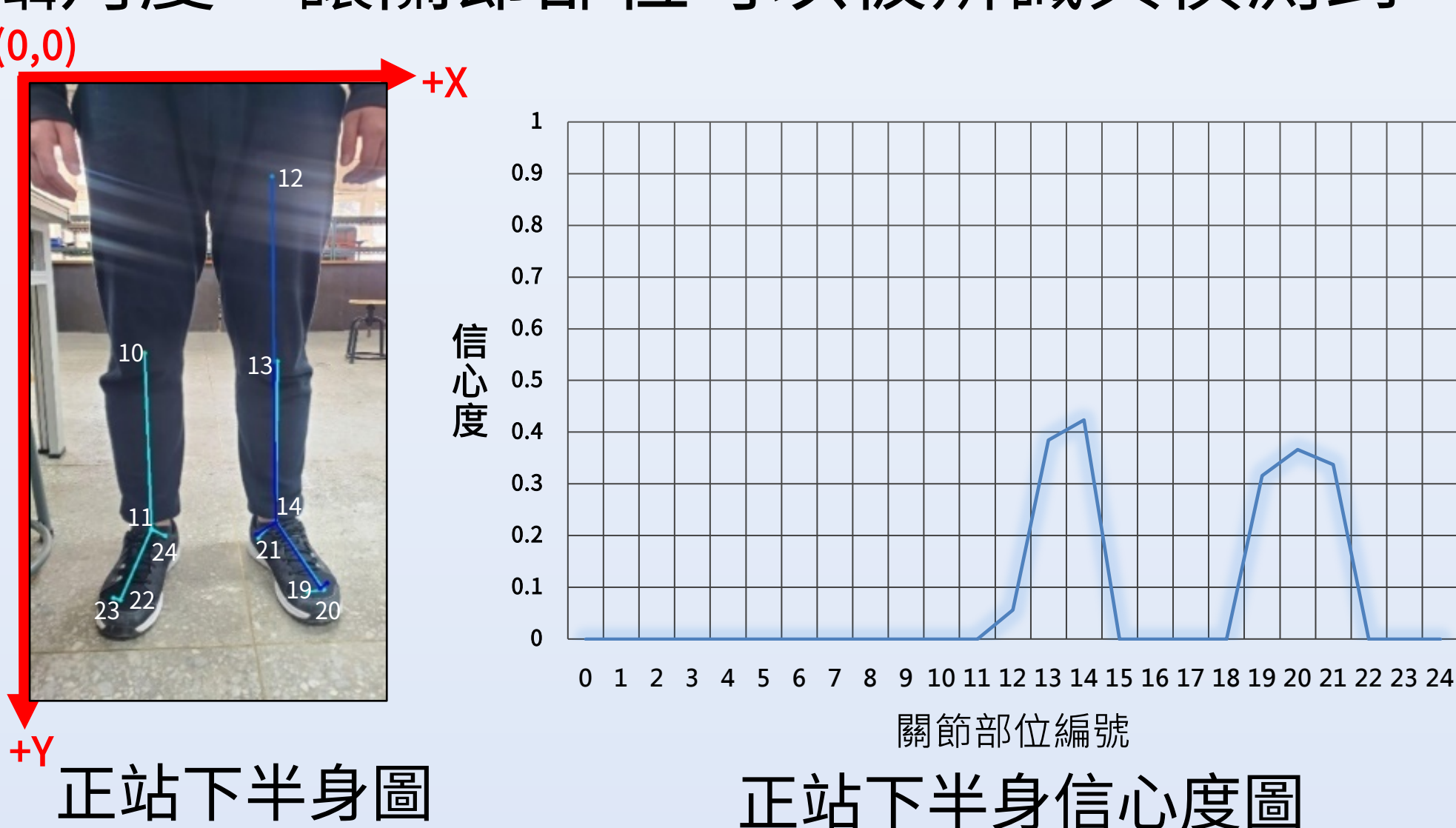
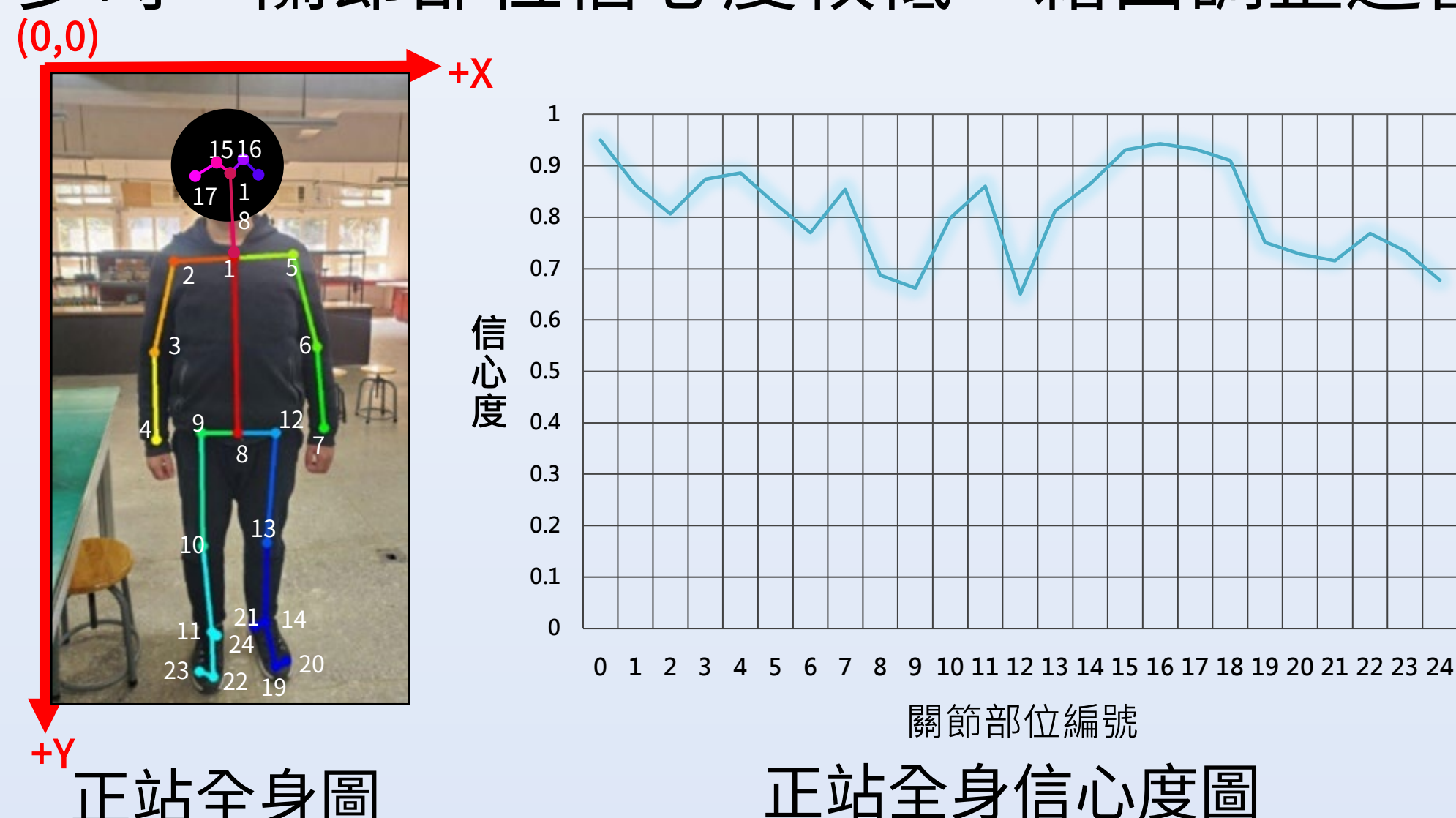


控制硬體電路

## 伍、問題與討論

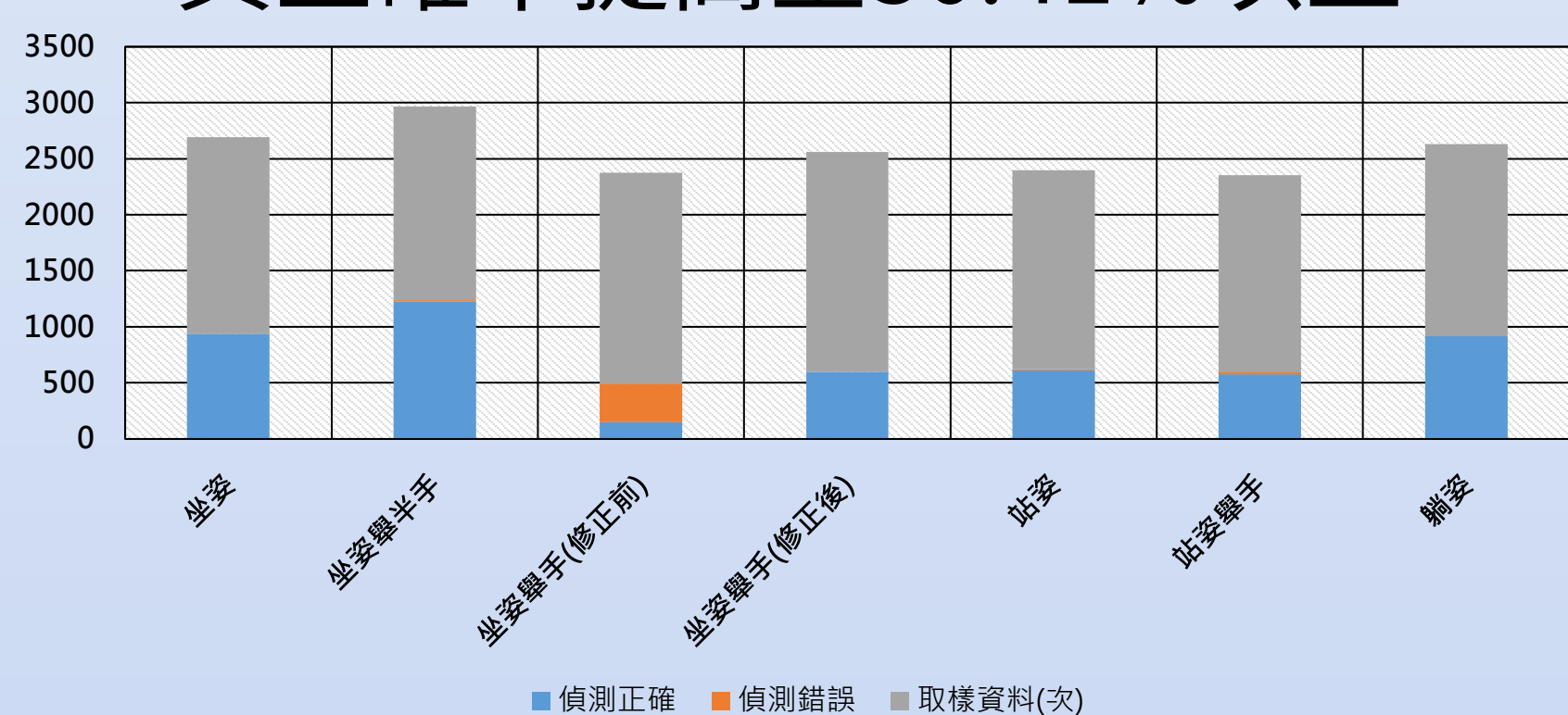
**問題一**：影像中人的站姿與關節部位拍攝位置，導致關節部位信心度下降問題。

**解決方法**：不同拍攝角度觀察關節部位信心度，在此將正站全身與下半身之關節部位j13(左膝)進行比較，正站全身時信心度為0.872，正站下半身時信心度為0.056，發現主體被偵測到關節部位越少時，關節部位信心度較低，藉由調整適當拍攝角度，讓關節部位可以被辨識與偵測到。



**問題二**：坐姿與站姿情境差異性之辨識效果偏低，其正確率達7.8%。

**解決方法**：在辨識姿勢前需先將相關特徵關節擷取完整，如此可避免關節部位不完整而影響辨識結果，其正確率提高至30.41%以上。



情境姿勢辨識正確率比較表

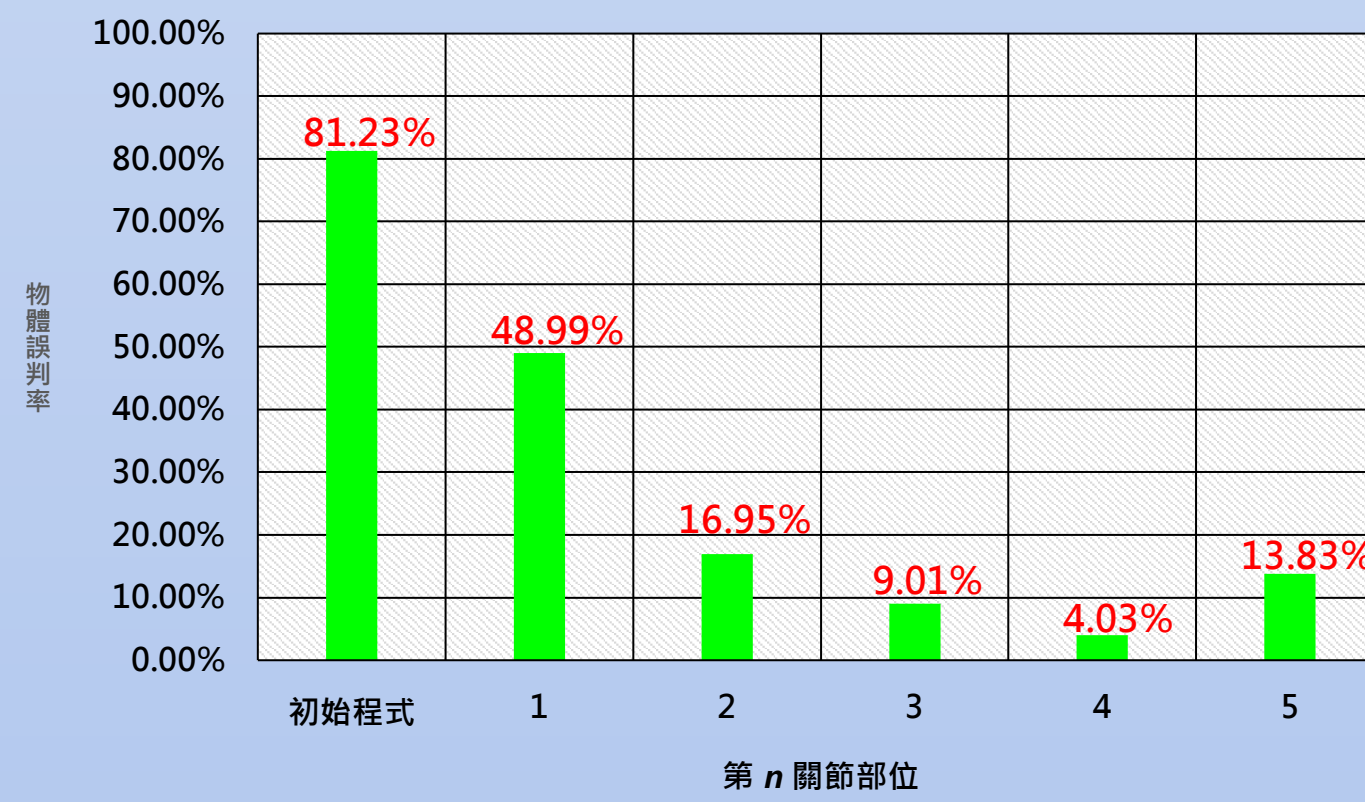
情境姿勢	偵測正確	取樣資料(次)	正確百分率
坐姿	936	1756	53.30%
坐姿舉手	1224	1726	70.92%
坐姿舉手(修正前)	147	1885	7.80%
坐姿舉手(修正後)	597	1963	30.41%
站姿	612	1777	34.44%
站姿舉手	577	1760	32.78%
躺姿	914	1718	53.20%

**問題三**：人體姿勢辨識過程中常發生誤認物體關節為人體關節，此時將導致非人體偵測錯誤，其初始物體誤判率高達81.23%。

**解決方法**：增加姿勢辨識信心度限制條件，此限制條件為25個關節部位中任意n個關節部位信心度需高於0.5，若n=4時，如此物體誤判率可降低至4.03%以下。

物體誤判率比較表

第n關節部位	總資料量	錯誤資料量	物體誤判率
初始程式	2691	2186	81.23%
1	1380	676	48.99%
2	2106	357	16.95%
3	2696	243	9.01%
4	2483	100	4.03%
5	2307	319	13.83%



## 陸、結論

### 一、系統功能

- OpenPose應用於機具操作安全即時觀察操作者工作情境姿勢與異常姿勢，其系統功能包含如下：
- (一).操作鑽孔機情境姿勢，坐姿休息、坐姿工作、坐姿舉手、站姿休息、站姿舉手與躺姿六種情境。
  - (二).利用各種姿勢之特徵關節部位來分析正常姿勢與異常姿勢差別，並讓程式判斷鑽孔機操作者是否發生異常姿勢，以達到自動偵測緊急事件或意外發生效果。
  - (三).即時判斷姿勢代碼並顯示警示訊息，加上與電路配合，控制機具設備與硬體，提醒機具操作者。

### 二、未來展望

- (一).因物體固定與人體移動有差異性，觀察相同偵測時間的變化量，並且根據資料計畫判斷物體條件，解決物體偵測出關節部位和肢體，造成姿勢辨識誤判的問題。
- (二).姿勢辨識藉由決策樹分類法來進行判斷，並且觀察決策樹訓練和預測的結果，透過預測結果擬定，以提高偵測情境姿勢的良率。

## 柒、參考文獻

- [1]國際勞動統計-職業災害統計分析，勞動部，<https://www.mol.gov.tw/statistics/2452/2457>。
- [2]Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shih-En Wei, and Yaser Sheikh, "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields," IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 2019.
- [3]S.-E. Wei, V. Ramakrishna, T. Kanade, and Y. Sheikh, "Convolutional pose machines," in CVPR, 2016.
- [4]<https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>.