

營建工地安全系統之工地安全帽及背心偵測

Helmet and Vest Detection for Construction Site Safety System

陳韋成

國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系
羅斯福路四段1號
台北市10617大安區

丁肇隆

國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系
羅斯福路四段1號
台北市10617大安區

張瑞益*

國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系
羅斯福路四段1號
台北市10617大安區

*rayichang@ntu.edu.tw

摘要

營造業之工地事故職業災害發生比率，相較於其他行業更為嚴重。其中，工地人員未按規定配戴安全裝備，是造成嚴重傷害的主要原因之一。為了避免悲劇發生，本研究藉由人體偵測及物件辨識技術，判定勞工進入工地時是否按規定著裝，如工地安全帽及工地背心，以達到自動化的安全檢查。本論文主要分為三大部分：影像前處理、特徵擷取及辨識。首先，以網路攝影機拍攝影像後，透過背景分離法擷取移動的前景影像，接著定位出工地安全帽及工地背心位置。最後，再抽取色調直方圖、飽和直方圖以及區域二元圖形(Local Binary Pattern, LBP)作為影像特徵，交由支持向量機(Support Vector Machine, SVM)進行分類。實驗結果顯示，本系統每次偵測之執行時間平均只有270毫秒，辨識工地安全帽及工地背心正確率分別為97%和93%，可以有效降低人力負擔需求。

關鍵詞: 營建工地安全、圖形辨識、影像處理、安全帽偵測、背心偵測。

Abstract

The occurrence rate of severe occupational injury in construction industry is much higher than others. This high risk is primarily caused by the deficiency of the personal protective equipment. In this paper, we apply the techniques of body detection and object recognition to design an automatic checking system for examining whether construction workers are equipped safety helmets/vests or not. There are three parts in our system which including image preprocessing, feature extraction and pattern recognition. First, videos of workers are taken by an IP camera. Then, the images of workers would be extracted by background subtraction, and the positions of safety helmets and safety vests are located. At last, the support vector machine (SVM) is utilized to perform classification with the image features of hue histogram, saturation histogram and local binary pattern (LBP). The experiment results show the system could effectively recognize safety helmets and safety vests with the accuracies of 97% and 93%, respectively.

Keywords: Construction site safety, Pattern recognition, Image processing, Helmet detection, Vest detection.

一、緒論

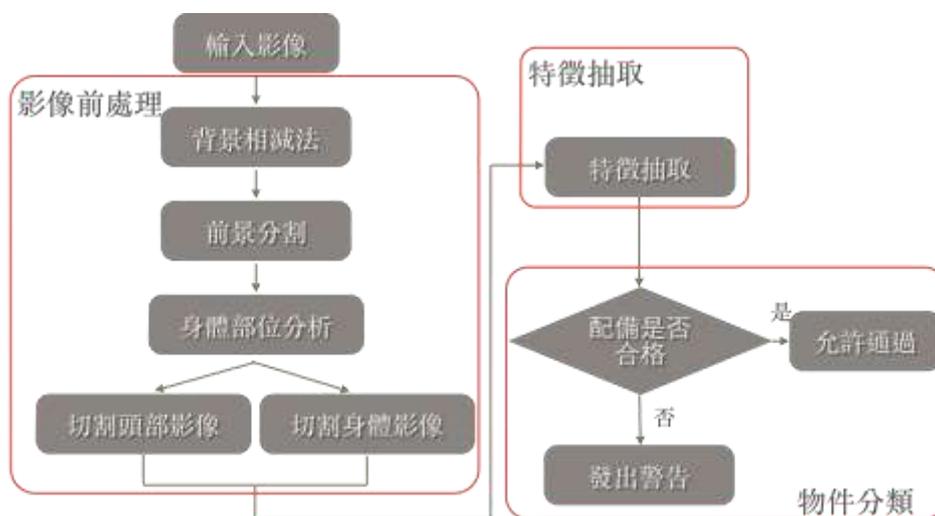
根據2014年『臺北市勞動安心四年計畫』所統計的資料[1]，近十年來臺灣營造業之工地事故發生比率占所有職業災害的71%，超出其他行業許多。而營造工地事故中，勞工安全裝備配戴不合規定，又是造成嚴重傷害的主要原因。因此，政府推動『營造工程安全視訊監控系統』的設置[2]，要求在營造工地架設視訊監控系統，以作為災害發生後之檢討與責任歸屬紀錄。然而，要判斷勞工著裝是否確實，仍靠現場之監工人員去一一進行檢視，這是管理人力上極大的負擔，而且難免還是有所疏漏。因此，本研究基於營造工地已架設之視訊監控系統影像，設計一套電腦視覺輔助機制，藉由人體偵測及物件辨識技術，自動化判定勞工進入設定場域（如營造工地）時是否按規定著裝，以達到自動化的安全檢查，提高工地安全，避免悲劇發生。

在實際需求訪談後，工程顧問公司建議在原工地入口以貨櫃屋方式設置一套活動式營建工地安全檢查系統。如圖一所示，在入口處，先以安全裝備配戴示意圖與鏡子，提醒勞工做自我檢查，並在第一關以鞋頭接觸磁簧的方式，檢查勞工是否有穿著鋼頭鞋（鋼頭鞋的造型與一般皮鞋相同，故難以電腦視覺方式檢查）。而在進入下一檢查點之前，利用連動柵欄設計，引導勞工開始收斂情緒專注工安問題，勞工進入攝影機辨識範圍內，將以電腦視覺技術檢查其是否按規定著裝，例如：工地安全帽及背心，藉以輔助現場之監工人員。



圖一：在工地入口設置營建工地安全系統

本論文的重點在如何設計一套營建工地安全檢查系統，透過一般網路攝影機拍攝的影像，即可偵測勞工是否配帶工地安全帽及背心。首先，監控範圍是針對工地出入口處，所以是一個固定寬度的走道，故可在攝影機固定不動的情況下進行拍攝。我們於走道影像中定義偵測之興趣區域(Region of Interest, ROI)，當勞工進入興趣區域時，系統即開始偵測畫面中的人員，取得其影像進行判讀。輸入影像後，我們使用背景分離法來分割背景和前景，並持續的更新背景以維持背景前景分割的準確性。當分離出前景後，則對其進行分析，進而得到頭部區域影像以及身體區域的影像。最後進行特徵抽取，以訓練支持向量機(Support Vector Machine, SVM)分類器來做規定著裝物件（如工地安全帽及背心）的辨識。如果勞工所配戴的裝備符合規定，即可進入工地；如不確定符合，則發出警示通知檢查人員確認，避免後續可能產生之工安事件。



圖二：整個系統主要分成三個技術單元，分別為影像前處理、特徵抽取、物件分類。

如上圖，整個系統主要分成三個技術單元，分別為影像前處理（包含背景及前景分割與身體部位分析）、特徵抽取、物件分類。相關技術雖有出現在過去的不同應用中，但並沒有我們所針對的營建工地安全系統應用，而本系統在整合各項技術時，亦針對此問題需要對相關技術進行改良。例如，在本系統中，我們將畫面中移動的前景物體擷取出來，並判斷是否為人的影像，若為人的影像才去分析安全帽及背心，以節省系統執行時間。傳統方法因為要避免風吹或光照所造成的誤判，多使用高斯混和模型來分辨前後

景，但相對的也導致龐大的運算。而本系統以貨櫃屋方式設置營建工地安全系統，環境較單純，因此我們嘗試簡化計算，使用單一高斯模型結合簡單的色度及梯度資訊來分辨前後景，結果發現確實可達到快速辨識。此外，我們也整合前人的研究經驗，提出以色調及飽和度結合區域二元圖形(Local Binary Pattern, LBP)紋理特徵再加上支持向量機分類器，來辨識工地安全帽與背心。

傳統在辨識分類上的應用，誤報(false positive)和漏報(false negative)重要程度相當，但在工地安全的應用情境上，我們必須儘量避免誤報（即不希望將未正確配戴工地安全帽與背心的影像，誤報為正確配戴）。所以，比較工地安全檢查系統好壞的基準，將在沒有任何誤報產生的前提下，去看正確率能有多高，這與其他研究稍有不同。實驗結果顯示，本系統在沒有任何誤報產生的前提下，辨識工地安全帽及工地背心的正確率分別為97%和93%，可以節省九成以上的人工處理。每次偵測之執行時間平均只有270毫秒。本論文第二節將探討相關研究文獻。第三節說明本研究之模型建立及影像前處理相關技術。第四節為實驗結果與討論，第五節總結本論文的研究以及未來可深入的方向。

二、相關研究

目前安全帽的辨識技術，主要用於檢視機車騎士是否戴著安全帽。例如：[3]使用邊緣偵測物體的長、寬和像素比來偵測機車物件，並設定一搜尋區域以配合搜尋演算法來確認是否有安全帽存在。由於僅使用邊緣點判斷，這個方法會受安全帽在影像中的大小、相機拍攝角度及高度等參數所影響[4]。[6]提出先以背景分離法來得到機車前景，對於機車騎士頭部的區域分別計算灰階直方圖及梯度直方圖(Histograms of Oriented Gradients, HOG)[7]作為特徵，使用支持向量機[8]辨識騎乘者是否有戴安全帽。由於是使用灰階直方圖，這個方法受光線影響較大。防範犯罪者藉由安全帽來遮蔽臉部資訊，[5]提出了一套基於霍夫轉換(Hough Transform, HT)偵測圓弧形狀的演算法，偵測於提款機領錢的人是否穿戴安全帽。由於只用幾何特徵去偵測影像中接近圓弧的部分，這個方法易對人頭造成誤判。

除了使用一些傳統的簡單特徵，也有一些較新的特徵被使用。例如[9]利用高斯混和模型[10]切割出前景，再利用支持向量機判斷該前景影像是否為機車，若為機車影像則將頂部1/5的影像以霍夫轉換偵測圓，將此圓區域之局部二值模式紋理特徵交由支持向量機判斷是否為安全帽。[11]採用Adaboost人臉偵測來尋找人臉區塊，再對人臉上方的區域，使用HSV (Hue-Saturation-Value, 色相、飽和度、明度) 色彩資訊來判斷是否有戴安全帽。[12]針對機車側面影像，使用K鄰近鄰居(K-Nearest Neighbor, KNN) 法 [13]來做分類，判斷是摩托車或者是其他物體，若是機車則將頭部區域擷取下來，最後在再以K鄰近鄰居法判斷是否有帶安全帽。

相對於安全帽，前人在工地背心辨識技術方面的研究比較少。[14]提出了一套以背心辨識在工地進行人數計算的方法。該篇論文以HSV色彩資訊作為辨識特徵，先以背景分離法取得前景，再以梯度直方圖特徵和支持向量機判斷該前景是否為人的影像，再從人的影像中抽取色調直方圖、飽和直方圖，交由K鄰近鄰居法進行辨識，以判斷是否為工人並加以計算人數。總結以上，過去對於工地背心的辨識，是用來計算人數，而安全

帽的辨識，則針對機車騎士的安全帽，並沒有我們所討論的營建工地安全的應用需求。此外，我們以貨櫃屋方式設置營建工地安全系統，問題所需考慮的環境與需求也與其他應用不同。在本論文中，我們亦針對這些不同需求來改良演算法，希望可達到快速辨識，而在沒有任何誤報產生的前提下，去提高正確率。

三、方法說明

本系統首先進行輸入影像的背景前景分割與人體部位分析。在攝影機固定的情況下，由於所拍攝的背景是不變的，影片中各張影像同一位置的背景像素，其RGB（紅綠藍）分佈將會滿足高斯分布。我們首先參考傳統方式，定義 r 、 g 、 b 分別為像素點的RGB值， μ_r, μ_g, μ_b 為某個位置之背景像素所統計出來的RGB平均值， $\sigma_r, \sigma_g, \sigma_b$ 為其標準差。將在 $t+1$ 秒時新的影像的每一像素，和同一位置從0到 t 秒的背景像素所統計的高斯模型比較，以此猜測該像素屬於背景還是前景。若像素與平均值的距離大於三倍的標準差，則為前景，否則為背景。為減少光線變化對前景切割準確性的影響，若在 $t+1$ 秒時該位置的像素仍是背景像素，背景模型會進行更新。計算方法如下公式(1)。

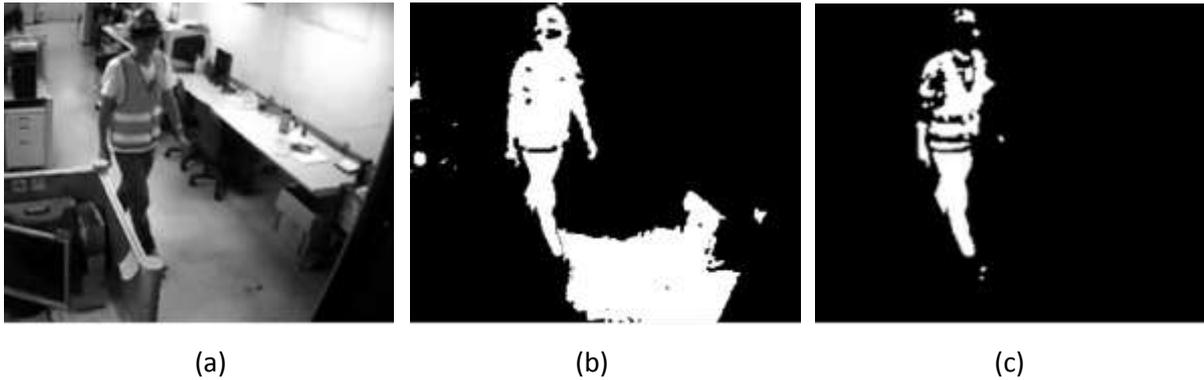
$$\begin{aligned}\mu_{t+1} &= \alpha\mu_t + (1-\alpha)z_{t+1} \\ \sigma_{t+1}^2 &= \alpha(\sigma_t^2 + (\mu_{t+1} - \mu_t)^2) + (1-\alpha)(z_{t+1} - \mu_{t+1})^2\end{aligned}\quad (1)$$

其中 z_{t+1} 是在時間點 $t+1$ 時所量測出來對應的背景像素RGB值，常數 α 是學習律，其值介於[0,1]之間，數值越小即代表新的背景像素佔有較高的權重。

在實際觀察實驗結果，發現若只考慮RGB值，很容易將陰影誤判為前景，因此我們嘗試使用色度[15]來建立新的高斯模型。色度計算公式為 $r_c = r/(r+g+b)$ 與 $g_c = g/(r+g+b)$ ，計算背景像素所統計出來的色度平均值與標準差，利用像素和色度高斯模型的距離來加以判斷，若與平均值的距離大於三倍的標準差，則可能為前景，否則為背景。計算方法如下公式(2)。

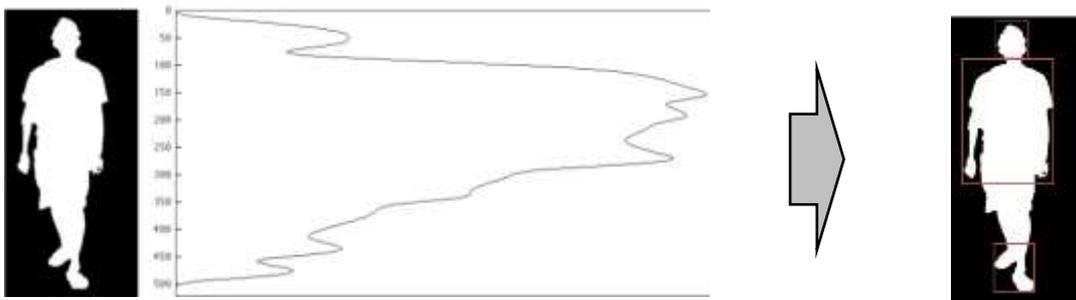
$$\begin{cases} foreground & , \text{if } |r_c - \mu_{rc}| > 3 \times \max(\sigma_{rc}, \sigma_{rcam}) \\ & , \text{if } |g_c - \mu_{gc}| > 3 \times \max(\sigma_{gc}, \sigma_{gcam}) \\ background & , \text{otherwise} \end{cases}\quad (2)$$

圖三(a)為原始影像。圖三(b)為利用傳統高斯背景模型所得之結果，會將陰影誤判為前景。圖三(c)為我們利用色度模型所取得之前景資料，可以看出其前景判定較傳統高斯背景模型來的準確。處理結果中會出現一些小雜點，可以利用影像型態學進行侵蝕膨脹，用來消除小雜點、修補破碎並平滑輪廓。



圖三: (a)原圖，(b)單純利用RGB來建立高斯背景模型，(c)加上色度模型來取得前景。

在完成前景偵測之後，過去的方法多半透過膚色區域偵測並使用霍夫轉換[17]，來找出頭部區塊，再以此找出安全帽。不過臺灣營建勞工常來自不同國家，個別膚色變化大，又習慣使用遮蔽口罩或毛巾，實驗發現，這些特殊情境對傳統方法增加不少難度。此外，霍夫轉換的運算量並不算小。因此，本研究嘗試去尋找可行但簡單的替代方法。在我們的營建工地安全系統中，由於所有勞工都將是以立姿進入檢查點，我們觀察到雖然勞工的身材胖瘦高矮會有不同，但藉由水平投影前景像素的數量，可以去簡單分出人體之頭、身、腳各範圍。如圖四所示，若以水平投影方式計算如左子圖所抓前景，可得如中間之直方圖結果。可以發現其曲線從頭部到身體的水平投影量有明顯的變化，也就是說在我們的問題情境中，頭部區域可以藉由水平投影直方圖來進行基本切割，不須使用傳統複雜的影像辨識方法。同理，腳與身體所佔部份亦可由此來進行基本切割。



圖四: 左子圖前景影像，以水平投影方式計算可得中間之直方圖（縱軸是每一列位置，橫軸是白色像素所累積的數量）。從頭部到身體的投影量有明顯變化，可由此來切割頭部區域。

找出頭部區域之後，觀察頭部區域高度與工地安全帽高度的關係，可發現兩者之比值（工地安全帽高度/頭部區域高度）很穩定，不同勞工的頭部相對其工地安全帽的比例都很接近0.35。因此我們可以利用這一比值，由頭部區域來直接定位工地安全帽的可能位置，再將此位置之特徵配合支持向量機分類器，用以辨識是否真正存在工地安全帽。同理，我們去觀察頭部區域與工地背心區域的關係，亦發現工地背心區域多在頭部區域以下2.3倍高度延伸的區域。利用上述方法所得到的雖不是最精確區域，但十分簡單快速，加上配合使用支持向量機的辨識結果不錯，使整個方法更顯可行。

在使用支持向量機之前，先要決定所使用之特徵，一般常使用之影像特徵包含形狀、色彩和紋理等可以代表被辨識物體的視覺特性。本論文採用HSV色彩資訊結合區域二元圖形作為主要特徵。攝影機所拍攝的影像資訊，通常是以RGB色彩空間來表示。但是RGB易受光線所影響，為了避免此問題，本研究所採用對光線強弱較不敏感的HSV色彩空間[18]。RGB對HSV的轉換公式如下。

$$\begin{aligned}
 V &= \max(R, G, B) \\
 S &= \frac{(V - \min(R, G, B))}{V} \\
 H &= \begin{cases} \frac{(G - B) \times 60}{S} & , \text{if } V = R \\ 180 + \frac{(B - R) \times 60}{S} & , \text{if } V = G \\ 240 + \frac{(R - G) \times 60}{S} & , \text{if } V = B \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3}$$

至於區域二元圖形[19]則是一個用來描述紋理的特徵，優點是計算簡單及快速，在許多研究證實有不錯的效果。其計算方法如下：首先將圖片轉成灰階，再依序將每一個像素當成中心點，並且以中心點為閾值與其周圍 3×3 區塊內的像素進行比較，若鄰近的點大於閾值，則將此點標記為1，反之則將它標記為0，標記完後即可得到一組二進制數字（如：00111000=56），作為該點之區域二元圖形特徵。可以觀察到取樣點數8的區域二元圖形所產生的圖形共有256種，而特徵值的範圍越大，則對於運算來說是越不利的。為了解決這種問題，[20]提出了均勻圖形(uniform pattern)概念來改良原本的區域二元圖形特徵。所謂均勻圖形，要求區域二元圖形特徵所產生的0與1數列中，最多僅可有兩次從1到0或從0到1的轉變，例如：00001111、10001111 和 11111111。根據實驗顯示，原有的區域二元圖形特徵數量由256種降至59種，其中58種為均勻圖形，不屬於均勻圖形的則集中歸類成同一種，所以共有59種。這樣不僅可以使特徵的維度降低且也能使雜訊的影響減少。

本論文即以HSV色彩資訊中HS直方圖（色調直方圖及飽和直方圖）及區域二元圖形直方圖，作為支持向量機的訓練特徵，用以辨識工地安全帽與工地背心。支持向量機[21]是近年來常被使用的機器學習演算法，常用於處理二元分類問題，並且廣泛應用於影像辨識與文本分類等領域上。支持向量機屬於監督式學習演算法，主要運作分為訓練及預測兩個階段，在訓練階段需先對已知資料進行標記的動作，再從其中去學習，並建立一個超平面以分類資料。而在預測階段中，用訓練階段所得到的超平面，來對未知的資料進行分類。詳細之演算法在此將不贅述，有興趣之讀者可參考[21]。

四、實驗討論

本系統執行的硬體環境架構在Intel Core i5-2557M 1.7GHz以及4GB的記憶體，自行開發的程式中使用到OpenCV以及LIBSVM [8]這兩項常被使用的程式庫。實驗影像來源為IPUX ICS1330網路攝影機所拍攝的影片，解析度為320x240像素，拍攝速率為每秒三十張影格(frame)。實驗中使用工地人員實際穿戴的工地安全帽及工地背心，其中工地背心則考慮螢光紅及螢光綠兩種顏色，而工地安全帽考慮白色及藍色兩種顏色（事實上，工地安全帽主要有四種顏色，白色及藍色是不同性質勞工，最常使用，紅色及黃色是指揮管理人員，較少使用。本系統雖以白色及藍色為實驗對象，但可以很容易加入其他顏色的案例）。

本研究的訓練影像，一部分由google照片切割而得，另一部分為自行拍攝擷取，其中包含不同亮暗光線以及不同款式的安全帽和背心。統計共有訓練影像白工地安全帽與藍工地安全帽1258張、非工地安全帽1179張、螢光橘工地背心與螢光綠工地背心369張、非工地背心為545張。下圖列出部分之訓練影像，包含白工地安全帽、藍工地安全帽、非工地安全帽、螢光橘工地背心、螢光綠工地背心、非工地背心。可以發現訓練影像中，並非白色帽子就會是工地安全帽，也不是橘色上衣就會是工地背心，除了顏色之外，樣式圖案也是辨識重點。



圖五: 本實驗之部分訓練影像，包含白工地安全帽、藍工地安全帽、非工地安全帽、螢光橘工地背心、螢光綠工地背心、非工地背心。

本研究所使用的訓練特徵為HS直方圖及區域二元圖形直方圖。HS直方圖為從訓練影像中所統計出的色調直方圖及飽和直方圖，兩者串接形成一組特徵向量。我們將色調直

方圖及飽和直方圖的維度各設為8、16、32、64、128、256六種，總共有36種維度組合來進行測試。至於區域二元圖形直方圖則是以均勻圖形所改良的結果作為特徵，維度數為59。為了決定系統所使用之特徵參數，我們先使用1102張靜態影像進行實驗，包含工地安全帽419張、非工地安全帽392張、工地背心122張、非工地背心169張。要先說明的是，在工地安全的應用情境上，我們要避免誤報所造成的工安問題。所以特徵參數好壞的選擇基準，將是在無誤報的前提下，去提高其正確率，最後才去降低資料維度。實驗結果，在工地安全帽辨識中，以色調直方圖8維度及飽和直方圖128維度之特徵參數有最高的正確率99.6%，在工地背心辨識中，也是同樣之特徵參數有最高的正確率97.6%。故本研究就以此特徵參數加上二元圖形直方圖來作為支持向量機的學習輸入，以建立系統之辨識模型。

除了先前的1102張靜態影像，我們也拍攝了61段影片來進行測試，每段影片有三分鐘而每秒三十張影格，即共有329400張影像。影片中人員的穿著有「無工地安全帽、無背心」、「有工地安全帽、無背心」、「無工地安全帽、有背心」、「有工地安全帽、有背心」四種情況。其中有些人員還戴著口罩或圍著毛巾，這些營建工地常有的裝扮，是傳統其他應用較少面對的。由於工程顧問公司希望影片內容能擬真工地出入口人員進出的狀況，所以實驗中並未對測試人員的行動有任何指示，而任由其進行『通過檢查口』的這個情境，所以測試中的人員不一定會正對鏡頭，甚至有低頭亦或背對鏡頭的特殊情況，這些都是我們在設計系統時未事先考慮到的。下圖是幾個這樣的例子畫面。



圖六: 內容希望擬真工地出入口人員進出的狀況，行進中人員不一定會正對鏡頭，甚至有低頭或正背對鏡頭的人員。其中有些人員戴著口罩或圍著毛巾。

本系統目前將興趣區域設置於在底部1/4高度的地方，大概是等於閘門的入口處，如此系統可於工人將通過閘門時，啟動偵測程式。若工人配戴符合的工地安全帽以及工地背心，則系統以綠色框來框出，發出通過的訊號，允許閘門開啟。否則系統以紅色框來框出，發出警報通知工地管理者。下圖是幾個正確辨識的結果。由於我們所使用的特徵不光只有顏色特徵，結合紋理特徵後能將顏色相似的但非我們所定義的排除在外。系統可區別出頭戴非工地安全帽的帽子，身穿和螢光綠工地背心相似顏色的T恤，或小角度的低頭與側身。辨識結果的統計如表一。我們以精準率(Precision)、召回率(Recall)及正確

率(Accuracy)來進行評估，依工地安全的應用情境，在誤報=0的情況下，去比較各項指標。實驗結果顯示，本系統沒有任何誤報產生，辨識工地安全帽及工地背心其正確率分別為97%和93%，每次偵測之執行時間平均只有270毫秒。可以說十分有效。



圖七: 幾個正確辨識的結果。系統可區別出頭戴非工地安全帽的帽子，身穿和螢光綠工地背心相似顏色的T恤，或小角度的低頭與側身。

表一: 辨識結果統計(TP=True Positive, FP=False Positive, FN=False Negative, TN=True Negative)

	TP	FN	TN	FP	Precision	Recall	Accuracy
工地安全帽	26	2	33	0	1	0.93	0.97
工地背心	33	4	24	0	1	0.89	0.93

對於實驗中少數幾個分類錯誤的情況，如下圖所示。我們將其拿出來觀察，結果發現，多是在系統設計時未考慮到的情境，或說在系統運作流程上仍有缺陷之處。例如：原先為了避免不必要的偵測，我們假設人員會走在中間位置，並把系統的興趣區域設置於在底部1/4，當工人進入興趣區域方啟動偵測程式，去偵測此時的瞬間影像。雖然，這樣的運作流程在九成以上都沒有問題，但有時人員進入興趣區域的瞬間恰巧身體有最大轉角或正倚靠一邊，甚至正好背對鏡頭或大角度低頭轉身，若以此時的影像來辨識，難免導致系統因沒有得到適當資訊而造成誤判。

由於目前本系統沒有任何誤報產生，這些在系統設計時未考慮到的情境，都會發出警報給管理人員，未來可以設計一個回饋學習機制，將這些漏報情況加入分類器的訓練，讓學習的情境案例更加完整。至於在系統運作流程上仍有缺陷之處，由於系統可以重新定義所要偵測的區域，未來可以加大區域，避免因人員正倚靠一邊而錯誤切割的情形。而考慮到目前每次偵測之執行時間平均只有270毫秒，未來可以增加取樣辨識的影像張數，避免一瞬間沒拍攝好的問題。



圖八：幾個實驗中幾個分類錯誤的情況。人員進入興趣區域的瞬間恰巧身體有最大轉角或正倚靠一邊，甚至正好背對鏡頭或大角度低頭轉身，導致系統沒有得到適當資訊而造成誤判。

五、結論與未來方向

本論文與工程顧問公司討論，提出一套工地安全監控系統，用以判定勞工進入工地時是否按規定著裝，以達到自動化的安全檢查。系統主要分為三大部分：影像前處理、特徵擷取及圖形辨識。首先，以網路攝影機拍攝影像後，透過背景相減法擷取移動的前景影像，利用影像型態學清除雜訊、修補破碎區塊，再由連通體分析定位出頭部及軀幹位置，接著再各別抽取色調直方圖、飽和直方圖以及區域二元圖形直方圖作為特徵，再交由分類器進行分類。實驗結果顯示，本系統使用色彩特徵及紋理特徵的組合，可以有有效的辨識工地安全帽及工地背心，其準確率分別為97%和93%，平均執行時間為270毫秒。實驗中仍有幾點漏報情形，但這些在系統設計時未考慮到的情境，都會發出警報給管理人員，未來可將這些漏報情況加入訓練，讓學習的情境案例更加完整。至於在系統運作流程的幾個缺陷，可以加大偵測區域與增加取樣辨識來嘗試解決。此外，現階段系統只針對工地安全帽及工地背心兩樣裝備做偵測，往後可加入其他裝備，如工地手套、工地腰帶等。未來，此系統可加入其他如人臉辨識功能，記錄勞工進入工地時的相關訊息（如：個人進出工地時間、個人進出工地區域、統計工地內現有人數等），成為更完整的工地安全監控資訊管理系統。

參考文獻

- [1] <http://bola.gov.taipei/ct.asp?xItem=94373195&ctNode=62824&mp=116003>（臺北市勞動安心四年計畫）
- [2] <http://www.doli.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=1732660&ctNode=12871&mp=116021>（勞動安全視訊監控系統設置、勞動檢查即時監督管理系統說明）
- [3] M.-Y. Ku, C.-C. Chiu, H.-T. Chen, and S.-H. Hong, "Visual motorcycle detection and tracking algorithms," *WSEAS Transaction on electronics*, pp. 121-131, 2008.
- [4] J. F. Canny, "Finding edges and lines in images," *Massachusetts Inst. of Tech. Report*, vol. 1, 1983.

- [5] C.-Y. Wen, S.-H. Chiu, J.-J. Liaw, and C.-P. Lu, "The safety helmet detection for ATM's surveillance system via the modified Hough transform," in Security Technology, 2003. Proceedings. IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on, 2003, pp. 364-369.
- [6] J. Chiverton, "Helmet presence classification with motorcycle detection and tracking," Intelligent Transport Systems, IET, vol. 6, pp. 259-269, 2012.
- [7] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on, 2005, pp. 886-893.
- [8] C.-C. Chang and C.-J. Lin, "LIBSVM: a library for support vector machines," ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), vol. 2, p. 27, 2011.
- [9] R. Silva, K. Aires, T. Santos, K. Abdala, R. Veras, and A. Soares, "Automatic detection of motorcyclists without helmet," in Computing Conference (CLEI), 2013 XXXIX Latin American, 2013, pp. 1-7.
- [10] Z. Zivkovic, "Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction," in Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on, 2004, pp. 28-31.
- [11] S. Du, M. Shehata, and W. Badawy, "Hard hat detection in video sequences based on face features, motion and color information," in Computer Research and Development (ICRD), 2011 3rd International Conference on, 2011, pp. 25-29.
- [12] R. Waranusast, N. Bundon, V. Timtong, C. Tangnoi, and P. Pattanathaburt, "Machine vision techniques for motorcycle safety helmet detection," in IVCNZ, 2013, pp. 35-40.
- [13] T. Cover and P. Hart, "Nearest neighbor pattern classification," Information Theory, IEEE Transactions on, vol. 13, pp. 21-27, 1967.
- [14] M.-W. Park and I. Brilakis, "Construction worker detection in video frames for initializing vision trackers," Automation in Construction, vol. 28, pp. 15-25, 2012.
- [15] S. J. McKenna, S. Jabri, Z. Duric, A. Rosenfeld, and H. Wechsler, "Tracking groups of people," Computer Vision and Image Understanding, vol. 80, pp. 42-56, 2000.
- [16] R. M. Haralock and L. G. Shapiro, Computer and robot vision: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1991.
- [17] 楊佳穎, "以膚色資訊加速之 AdaBoost 即時人臉偵測系統," 臺灣大學工程科學及海洋工程學研究所學位論文, pp. 1-64, 2011.
- [18] A. R. Smith, "Color gamut transform pairs," ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1978, pp. 12-19.
- [19] T. Ojala, M. Pietikäinen, and D. Harwood, "A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions," Pattern recognition, vol. 29, pp. 51-59, 1996.
- [20] T. Ojala, M. Pietikainen, and T. Maenpaa, "Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 24, pp. 971-987, 2002.

- [21] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-vector networks," Machine learning, vol. 20, pp. 273-297, 1995.
- [22] M. Law, "A simple introduction to support vector machines," Lecture for CSE, UFL, pp. 1-15, 2006.

