

機器視覺應用於化學藥劑 GHS 危害圖示 偵測技術之研究

Study of GHS Hazard Pictograms Detecting for Chemical Medicaments using Machine Vision

吳明川
國立台北科技大學
機電整合研究所
mcwu@ntut.edu.tw

王暉晨
國立台北科技大學
機電整合研究所
t7408030@ntut.edu.tw

摘要

現今大學內普遍設有化學實驗室，並備有許多不同種類與性質的化學藥劑，其中有許多對人類與環境具有危害性質，而需要進行管控的藥劑。

本研究目的基於聯合國主導推行的 GHS 化學品分類與標示全球調和系統，建置一個使用主動式 PTZ IP 攝影機，依據 GHS 所定義之 9 種危害圖示，運用鏈碼直方圖匹配(Chain Code Histogram)及顏色特徵技術進行 GHS 危害圖示偵測。但是在現實環境中存在不可預測的因素，使危害圖示不易偵測，例如，危害圖示因瓶身形狀而扭曲、大小與角度之變化及異物的遮蔽等等。本系統將 PTZ IP 攝影機擷取之影像進行分析，並利用 Haar 特徵進行 Adaboost 演算法分類訓練找到化學藥瓶位置，再由 PTZ 攝影機之光學變焦功能進行 GHS 危害圖示偵測，達成化學實驗室藥劑管理的目標。

關鍵詞: GHS, 鏈碼直方圖, Haar 特徵, Adaboost 演算法, PTZ IP 攝影機

Abstract

Since, there are many kinds of chemical medicaments in the college laboratories. But, some of them which own noxious might damage environment have to be under control.

The study it based on the Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals; the study is to build up a system which can detect nine kinds of hazard pictograms definition in GHS, and this detecting method is using Chain code histogram matching and color feature which using an active PTZ IP camera. There are

many unpredictable reasons in real situation that cause GHS hazard pictograms hard to detect, because GHS hazard pictograms deformed by container shape, sizes and angle variant or shadowed by something ,etc. This system captures images to analyze from PTZ IP camera and using Haar likes features and Adaboost algorithm to find chemical bottles location, than detect GHS hazard pictograms using optical zoom in this area to reach the goal of chemical laboratory surveillance and management.

Keywords: GHS , Chain Code Histogram , Haar-Like Features , Adaboost Algorithm , PTZ IP Camera

1. 前言

1.1 研究動機與目的

實驗室中的化學藥品種類繁多，性質範圍也相當廣，除了有強烈反應能力的化學藥品，也不乏對生物具有威脅性的種類。再加上國內因地狹人稠而導致實驗室內安全距離普遍不足的情況，有效監控實驗室內化學藥品的流向與危險藥品的管制都是需要改進的方向。

由於實驗室中具有許多揮發性或毒性的化學藥劑，而其擺放位置必須在安全的地方。所以本研究目的是偵測化學藥劑(圖 1)是否位於不當的位置(例如火源或易燃物鄰近區域...等)，並且辨識瓶身上所黏貼 GHS 定義之 9 種危害圖示，因此即可了解此化學藥劑的特性，以決定是否要發出警報。並使用主動式 PTZ IP 攝影機對實驗室進行巡視，即可在實驗室設立多個警戒區域，偵測化學藥劑的擺放位置是否適宜。



圖 1 黏貼 GHS 標籤之化學藥瓶

1.2 文獻回顧

在電腦視覺領域中，物件偵測是相當重要且基礎的問題，同時可應用在許多方面，例如視訊監控、影像檢索、車牌辨識...等。物件偵測在任意複雜的場景中是非常具有挑戰性的研究主題，然而在現實環境中諸多因素都會影響其偵測結果，例如光線變化、尺寸大小或物件姿態擺設(傾斜、水平或倒置...等)。物件偵測較簡易的方法是使用距離公式或相關係數法[1][2]，利用樣板與搜尋影像之間的距離關係來偵測物件的位置，此方法卻只能偵測與樣版完全一樣的物件，一旦物件尺寸或姿態改變將會變得不易偵測。因此有些學者提出了使用幾何形狀或是物件顏色資訊[3][4]作為偵測物件的特徵。Juang[5]使用 Color Histogram 作為偵測物件的特徵並藉由 Fuzzy Classifier 分類出物件與非物件之方法，Viola[6]提到使用積分圖像(Integral Image)特徵用於人臉檢測的方法，並利用 Adaboost 學習訓練方法偵測[7]，其由多個弱分類器組合成一個強分類器的演算法。

1.3 GHS 制度介紹

鑒於現今國際貿易活動頻繁，許多化學藥品的來源也是由國外輸入，因此建立一種國際通用且統一的分類與標示制度為一重要課題。而由國際勞工組織(ILO)、經濟合作發展組織(OECD)與聯合國危險物品運輸專家委員會(UNCETDG)共同研擬出之全球化學品統一分類和標籤制度(Globally Harmonized System, GHS)可有效減少化學藥品對人體及環境所造成之危險與降低化學藥品跨國貿易須符合各國不同規定之成本。我國也於 2008 年 12 月 31 日起，由行政院勞委會公告實施 GHS 制度，以期能提昇國內各化學實驗室對於化學藥品管理品質與化學藥品使用、儲存之安全性。

2. 研究方法

2.1 程式開發工具與實驗設備

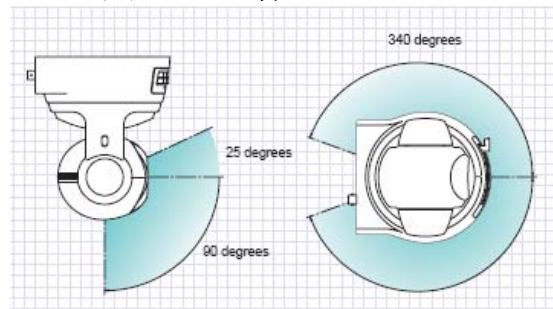


圖 2 PTZ IP 攝影機水平與仰俯之迴轉角度示意圖

本研究所選擇使用的程式開發工具為 Borland C++ Builder 6.0，對於使用者介面與網路元件的支援程度高，可以節省許多開發時間。

在實驗設備方面電腦規格使用 CPU 為 AMD Athlon64X2 5000+雙核心處理器，而記憶體為 DDR2 800 2GB。攝影機規格則使用 Sony SNC-RZ30 IP 攝影機具有水平迴轉(Pan)、仰俯(Tilt)、光學倍率縮放(Zoom)等功能，使攝影機具有可調整性的視野選擇及可設定的影像縮放參數，使用者可以根據環境等外部因素，做適當的調整如圖 2 所示，並可以根據需求對物件進行追蹤及放大檢視的效果。另外 IP 攝影機具有網路應用功能如圖 3 所示，可藉由網路通訊協定與硬體控制代碼，由遠端控制 IP 攝影機的動作與監視影像。

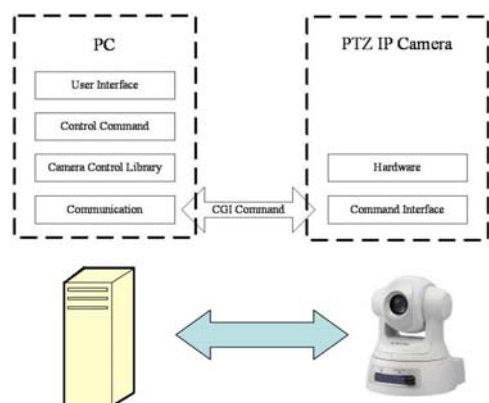


圖 3 PC 程式與 PTZ IP 攝影機之控制運作示意圖

2.2 研究架構

本研究主要是建立一個自動偵測化學藥瓶並判斷其是否位於禁區(例如火源或易燃物鄰近區域...等)之系統並及時發出警報通知工

作人員。主要是以藥瓶與九種危害圖示(圖 5)偵測等主要部份，本化學藥瓶偵測系統流程如圖 4 所示。

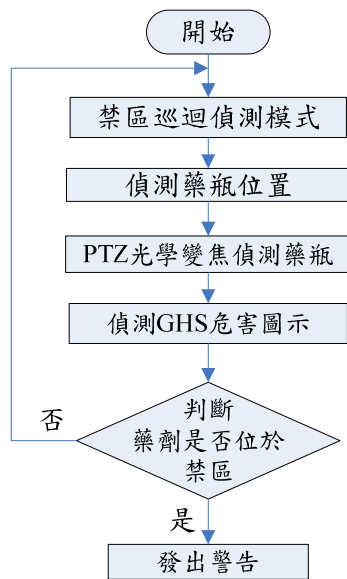


圖 4 化學藥瓶偵測流程圖

2.3 GHS 標籤規格

GHS 標示是聯合國組織為了達成各國使用者在分類上能夠明確定義與清楚標示有危害可能之化學藥品而制訂出之全球通用標示系統。GHS 規定之標籤規格如圖 6 所示，其配合物質安全資料表之內容，可以幫助使用者對於藥品可能之危害警告訊息、危害發生的處理方法等有初步的認識，提昇使用上的安全性。而 GHS 標籤黏貼大小需視容器大小而定，以達到清楚辨識。本研究即是對具有符合 GHS 標示規格的化學藥劑作偵測位置與判斷其危險狀況。



圖 5 GHS 定義之 9 種危害圖示



圖 6 GHS 標籤格式

2.4 化學藥劑之瓶身偵測

Viola[6] 最先提出了積分影像(Integral Image)概念快速計算 Haar 特徵和一個基於 Adaboost 之訓練人臉偵測分類器的方法，而建立了一個即時的人臉偵測系統。本文採用了 Viola 的方法，進行化學藥瓶偵測，並介紹該偵測方法流程如圖 7 所示。

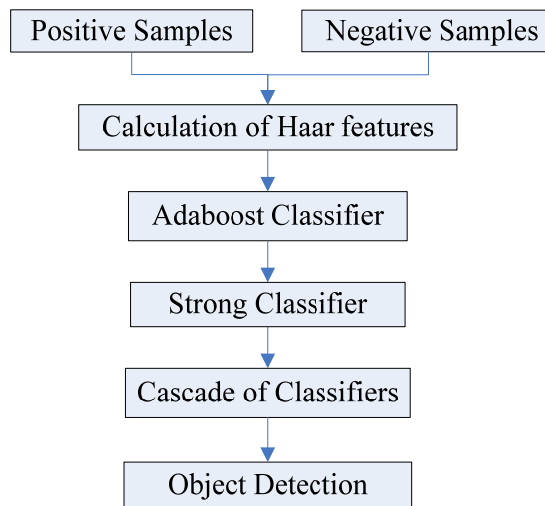


圖 7 化學藥劑瓶身訓練流程圖

(1) Adaboost 演算原理

Adaboost 演算法全名為 Adaptive Boosting 最早是由 Freund 和 Schapire 兩位學者於 1996 年所提出的一種分類器技術[8]，其主要目標為改善一種二分類學習演算法的準確率。

Adaboost 是一種疊代方法，其原理為從大量弱分類器選取最具有分類意義而組合成一個強分類器。分類器進行學習時，使用兩個訓練集對分類器進行訓練，即正例樣本(圖 8)及反

例樣本(圖 9)，其中正例樣本是指化學藥瓶樣本，反例樣本是指不包含化學藥瓶的任意圖片，並將所有的樣本圖片都正規化成同樣的尺寸大小(例如 20*40)。



圖 8 部分正例樣本



圖 9 部份反例樣本

而在一個 20*40 的像素大小內，就有數十萬個不同大小及其在小窗口不同位置的 Haar 矩形特徵，但這些特徵並不是都對化學藥瓶檢測有效，因此從特徵選擇的觀點來看，需要從這麼多的特徵中選出最有效的特徵組合，而挑選出的 Haar 矩形特徵，都對應一個弱分類器。

而 Adaboost 演算法是從所有可能的弱分類器中挑選出錯誤最低的那一個，然後改變樣本的權重值，使得那些被錯分的樣本得到進一步的重視，並重複上述的步驟，而每一步操作都得到一個弱分類器，最後的強分類器即是由這些弱分類器組合構成。

(2) Haar-like 特徵

在 Viola[6]的方法中，使用四種矩形特徵作為分類的依據，如圖 10 所示，但由於特徵表示過於簡單，因此後續的學者將此四種特徵型態拓展出更完整的形式，並加入 45 度角的特徵[9]，即今日所見的 Haar-like 特徵，如圖

11 所示。Haar-like 特徵主要分為四類:1.邊緣特徵 2.線特徵 3.中心環繞特徵 4.對角線特徵。

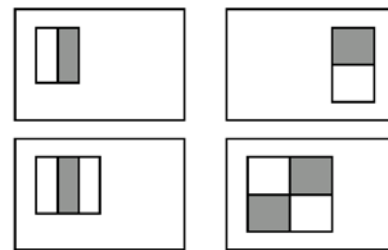


圖 10 Viola 使用的四種矩形特徵

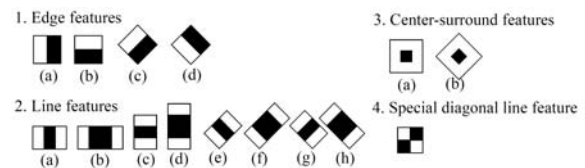


圖 11 Haar 特徵

由圖 10 可知 Haar-like 特徵是由黑白相間的矩形區塊所組成，其特徵值計算方式為影像中某一位置上之矩形像素總和，以黑減白(或白減黑)區塊像素灰度值總和並乘上相對應的權重求得其特徵值。

(3) 積分影像(Integral Image)

每個矩形框的像素和都可以用積分影像很快計算出來。對於一個輸入影像 I，像素(x,y)處的積分影像值定義如式(1)所示，其中 i(x,y)表示像素(x,y)的灰階值，而積分影像的概念如同計算面積的方式相當。如圖 12 所示，I 表示 A 的面積像素和，II 表示 A+B 像素面積總和，故同理可證IV為 A+B+C+D 積分影像面積總和。假設想要計算 D 區域的像素面積，則 IV-III-II+I 即為此區域面積大小，故只需查詢 D 區域的四個角座標，即可以通過少量的計算得到上述的矩形特徵值。

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (1)$$

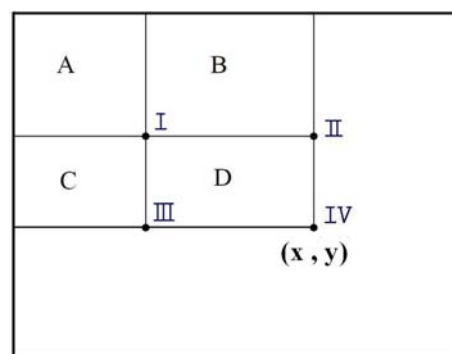


圖 12 計算區域面積概念圖

2.5 GHS 危害圖示偵測

經由 Adaboost 分類並偵測到化學藥瓶之後，即記錄每罐藥瓶之左上和右下角之座標位置。因為偵測到藥瓶時，瓶身標籤上的 GHS 危害圖示像素尺寸過小而導致不易取得其像素資訊，所以藉由 PTZ 攝影機光學變焦(Zoom)功能，依據藥瓶座標位置將此區域進行縮放，即可進行 GHS 危害圖示偵測。本研究使用圖樣比對與鏈碼直方圖匹配之 2 種偵測技術作為比較。

(1) 圖樣比對(Template Matching)

圖樣比對是一般最常使用而簡易的偵測方法，是一種用來搜尋在全域影像中特定圖案特徵的數位影像處理技術。其是指判斷兩張圖像之間的相似程度，目的在於兩組特徵個體之間尋求最佳的對應關係，而該兩組特徵個體可視為代表兩個欲比對的物體或影像，其意義即是在待測影像中搜尋是否存在一個或多個標準圖樣。圖樣比對的方法主要可分為相關係數法(Correlation Coefficient)、矩量法(Moments)、循序相似偵測演算(Sequential Similarity Detection Algorithm)...等。本研究針對GHS危害圖示偵測使用相關係數法[1]，其原理為在一幅W*H的影像I(u,v)中尋找和圖樣T(i,j)相匹配的子影像，如圖13所示。

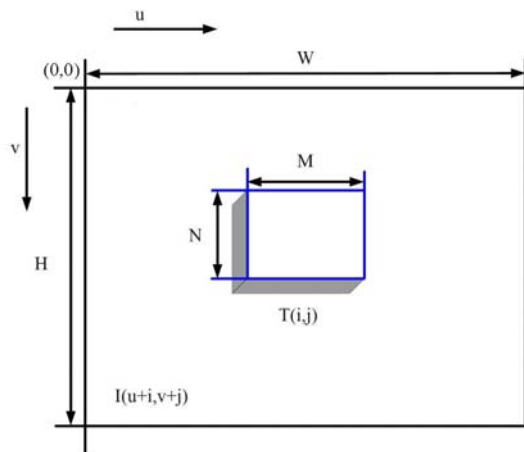


圖 13 圖樣比對示意圖

經由式(2)相關係數定義公式計算整幅影像 $c(u,v)$ 的最大值，即為 $T(i,j)$ 最佳匹配位置。此方法最大缺點是它對 $I(u,v)$ 和 $T(i,j)$ 的灰度值振幅變化比較敏感，所以常用來克服這一缺點的方法是用正規化互相關性(Normalized Cross Correlation)也是將待測影像與樣本之間作相似度的計算，其定義公式如式(3)。 \bar{T} 是樣本像素灰度平均值，而 \bar{I} 是

樣本與影像重疊區域平均灰階值。正規化互相關性 $r(u,v)$ 取值範圍是從 0 到 1 之間， $r(u,v)$ 為 1 時即為最佳比對位置。

$$c(u,v) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} I(u+i, v+j) \cdot T(i,j) \quad (2)$$

$$r(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I - \bar{I})(T - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I - \bar{I})^2 \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (T - \bar{T})^2}} \quad (3)$$

本研究所使用 GHS 危害圖示樣本圖如圖 14 所示，其像素尺寸為 24*24，偵測情形如圖 15 所示，圖中左邊黑色背景上有 30 個白色亮點其表示樣本圖與來源影像經過式(3)計算後較高的值，並將值介於 0.7~1 的位置記錄起來並用綠色方框將 GHS 危害圖示框選出來。相關係數法對於灰度變化、瑕疵較不受影響，亦可允許待測影像些微的旋轉和縮放如圖 16 所示，但是旋轉角度太大或是待測影像與樣本尺寸大小差異過大及無法將其偵測出如圖 17 所示。



圖 14 GHS 危害圖示樣本



圖 15 GHS 危害圖示之影像偵測結果



圖 16 GHS 危害圖示旋轉 20 度偵測結果

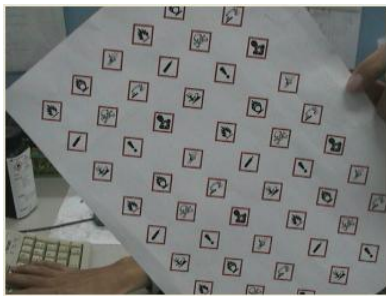
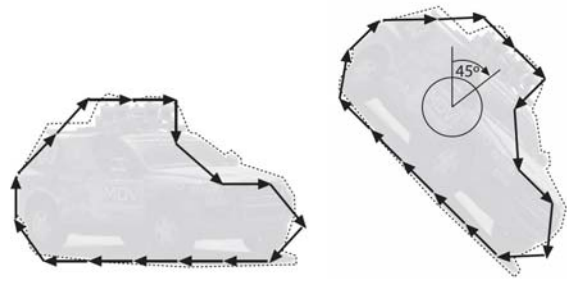


圖 17 危害圖示旋轉角度過大情形



(a) (b)
圖 20 物體輪廓鏈碼示意圖

(2) 鏈碼直方圖匹配(CCH)

為了要改善GHS危害圖示偵測會因旋轉、大小變化過大而影響其偵測準確性，所以本研究將對GHS危害圖示形狀來做為偵測的依據。本研究採用Freeman提出的鏈碼(Chain Code)的概念[10]進行邊緣編碼，GHS危害圖示偵測流程圖如圖18所示。

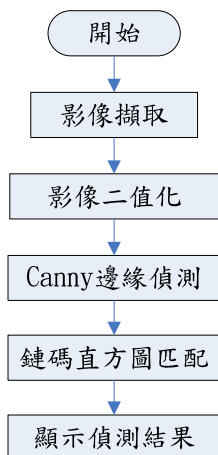


圖 18 GHS 危害圖示偵測流程圖

鏈碼是以一個具有長度和方向的直線段所連接成的序列用來表示其邊界的形狀，表示的方法是以線段的4或8連通性為基礎，其方向性的方位編碼分為4方向鏈碼(圖 19(a))和8方向鏈碼(圖 19(b))。

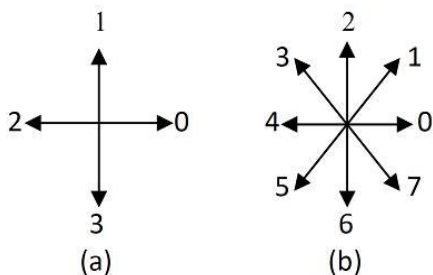
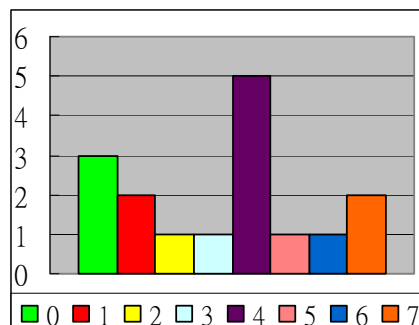
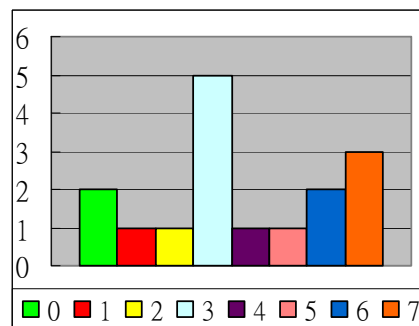


圖 19 四方向與八方向鏈碼

以圖 20(a)為例，鏈碼方向順序為4-4-4-4-4-3-2-1-1-0-0-6-7-0-7-5，依照物體輪廓曲線的走勢給予編碼，使原來的曲線由許多具有固定單位長度的線段，依照每一條線段的走勢，即線段的斜率，從事前定義的編碼表中找出此線段，最後此物體的外型輪廓將被一串具有順序性的代碼所取代。為了改善物件偵測會因旋轉角度、物件大小而無法偵測，所以計算鏈碼每個方向的數量並轉換成直方圖，如圖 21 所示，並將圖 20(a)之物體順時針旋轉 45 度，而其鏈碼方向順序將改變為3-3-3-3-3-2-1-0-0-7-7-5-6-7-6-0。將上述 2 個圖形轉為直方圖，如圖 21 所示，其直方圖並不會因旋轉而改變。



(a)物體未旋轉



(b)物體旋轉 45°
圖 21 鏈碼直方圖

3. 研究結果

本研究成果主要針對化學實驗室之化學藥瓶與 GHS 危害圖示偵測為兩個主要的目標，其偵測系統程式介面如圖 22 所示，其分別結果如下所示。



圖 22 化學藥瓶偵測系統程式介面

3.1 化學藥瓶偵測結果

由於本研究 PTZ 攝影機具有倍率縮放 (Zoom) 功能，假設藥瓶擺設距離超出本系統所偵測範圍外，即可透過縮放功能調整到可偵測範圍內。本化學藥瓶偵測實驗分為 3 部分：

1. 化學藥瓶擺設於 PTZ 下方如圖 23 所示。PTZ 與藥瓶水平距離為 1.2m，垂直距離為 0.5m，瓶身標籤正向攝影機。
2. 化學藥瓶順、逆時針旋轉 20° 情況。
3. 設置多個警戒區域作藥瓶偵測實驗。

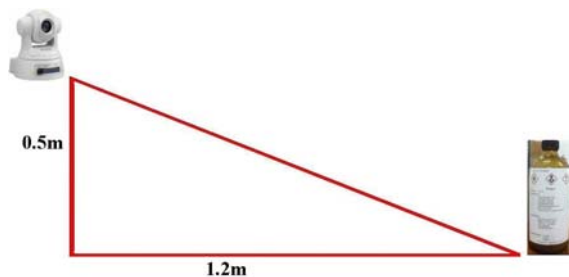
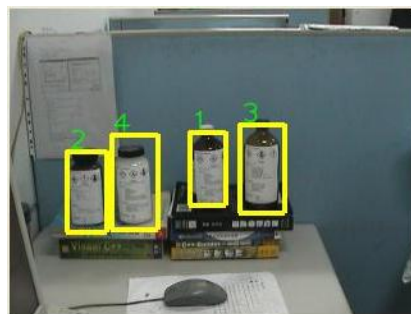


圖 23 本研究 PTZ 攝影機與藥瓶之相對位置

第一部分為藥瓶正對攝影機如圖 24 中，(a) 所示為利用 1 倍光學變焦之藥瓶偵測結果，瓶身使用黃色方框圈選表示，並使用綠色數字顯示有多少化學藥瓶位於此區域。(b) 圖使用 2 倍光學變焦影像右邊區域，此偵測結果顯示瓶身不同大小與形狀皆可準確偵測出來。



(a) 1 倍



(b) 2 倍

圖 24 不同光學變焦之藥瓶偵測結果

第二部份是瓶身順、逆時針 20° 偵測結果如圖 25 所示，由圖中可看出偵測效果都可以將藥瓶偵測出來。



(a) 藥瓶順時針旋轉 20°



(b) 藥瓶逆時針旋轉 20°

圖 25 瓶身順、逆時針旋轉 20° 偵測結果

第三部份是禁區藥劑偵測，禁區設定程式如圖 26 所示，使用者可以直接使用滑鼠點選矩形區域，建立禁區，例如鄰近火源位置、易燃氣體位置等。圖 26(a) 中，設定 A、B 兩個

禁區，假如化學藥瓶攜入此禁區即發出警告訊息，並通知相關人員如圖 26(b)所示。經由以上藥瓶偵測實驗其每張影像偵測之處理時間約 45ms 如表 2 所示。



(a) 設置 2 個禁區



(b) 禁區偵測結果

圖 26 禁區化學藥瓶之影像偵測結果

3.2 GHS 危害圖示偵測結果

化學藥瓶偵測出來後，需紀錄各藥瓶的位置，並依據藥瓶尺寸大小來決定縮放的倍率。圖 27(a)所示將 B 禁區藥瓶位置作 4 倍光學變焦，圖 27(b)為 GHS 危害圖示偵測結果。



(a) B 區之 4 倍光學變焦影像



(b) a 圖 GHS 圖示偵測結果

圖 27 GHS 危害圖示之影像偵測結果

以下是針對 GHS 危害圖示偵測範圍限制作詳細實驗，利用一張 A4 紙張將 9 種 GHS 危害圖示列印在上面而其圖示大小為 15*15cm。並改變 GHS 危害圖示像素尺寸、水平(Pan)角度、仰俯角度和扭曲角度的情況如圖 28 所示。

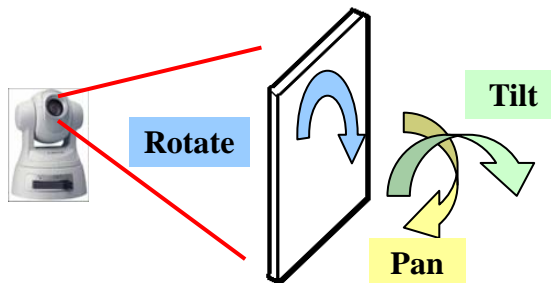
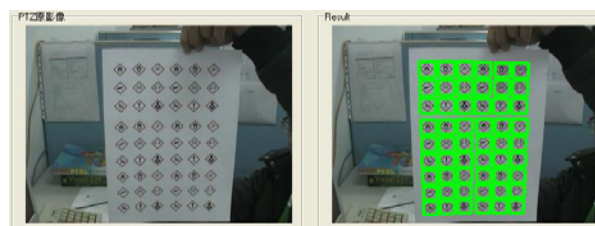


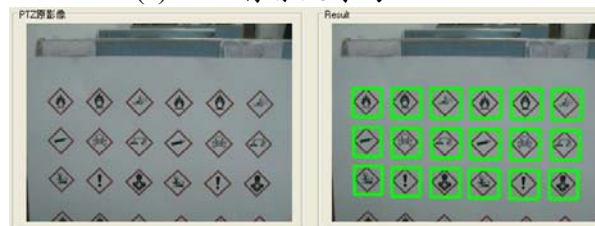
圖 28 GHS 危害圖示旋轉示意圖

圖 29 中所示為各方向旋轉角度的偵測結果，並使用綠色方框圈選出來，而圖 30(g)上方的 GHS 危害圖示沒偵測出來是因為其尺寸過小導致無法將輪廓偵測出，圖(i、j、k)是目前本研究模擬 3 種瓶身半徑其 GHS 圖示扭曲情形偵測。由圖 29 中可看出 GHS 危害圖示偵測在各種角度都有不錯的結果，以利於後續的 GHS 危害圖示辨識，並且統計目前偵測限制範圍如表 1 所示。經由上述 GHS 危害圖示偵測實驗其每張影像偵測之處理時間約 40ms 如表 2 所示。

本 GHS 危害圖示偵測系統其偵測最遠距離為 6.6m，其實驗是將 GHS 危害圖示放置在距離攝影機 6.6m 處，並利用 PTZ 攝影機光學變焦 25 倍偵測危害圖示，而其最小偵測像素尺寸為 20*20 pixels。而其偵測最遠距離會因危害圖式尺寸和擺放位置而異。



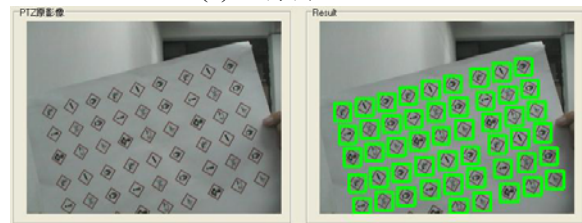
(a) GHS 像素尺寸為 20*20



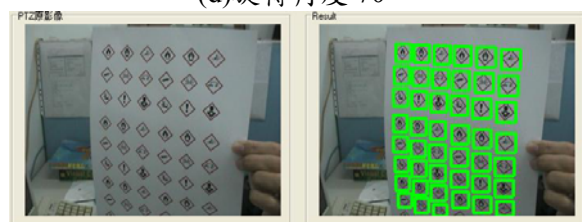
(b) GHS 像素尺寸為 35*35



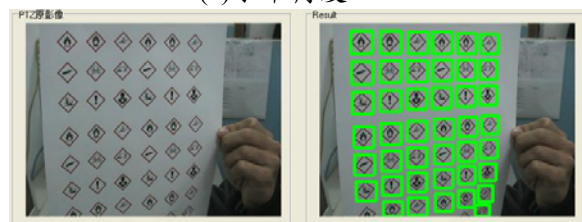
(c)旋轉角度 20°



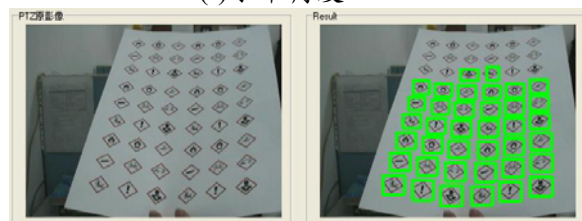
(d)旋轉角度 70°



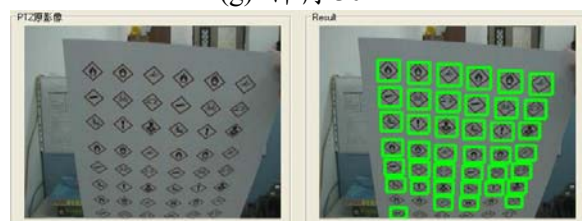
(e)水平角度 45°



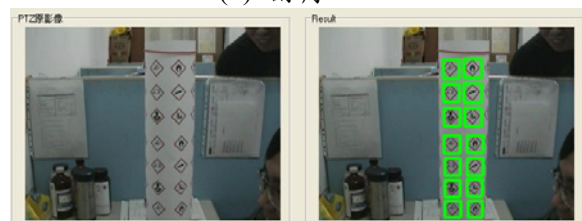
(f)水平角度 -45°



(g) 仰角 30°



(h) 俯角 -30°



(i)模擬瓶身半徑 30mm



(j)模擬瓶身半徑 40mm



(k)模擬瓶身半徑 55mm

圖 29 GHS 危害圖示各種角度偵測

表 1 本 GHS 危害圖示之偵測範圍

項目 範圍	偵測範圍
危害圖示 像素尺寸	20*20 以上
旋轉角度(Rotate)	0° ~ 360°
水平角度(Pan)	-45° ~ 45°
仰俯角度(Tilt)	-30° ~ 30°
模擬瓶身半徑	30,40,55(mm)

表 2 本程式模組之處理時間

項目 程式模組	處理時間
化學藥瓶偵測	45ms
危害圖示偵測	40ms

4. 結論與未來展望

本研究完成之化學藥瓶偵測系統，利用 Haar 特徵進行 Adaboost 分類器訓練偵測化學藥瓶所在位置，而由鏈碼輪廓比對方式偵測 GHS 危害圖示並將危害圖示做各種角度偵測，其結果都可準確偵測出來。本藥品偵測系統的特性為：

1. 使用 PTZ IP 攝影機提供便利的遠端控制模式，即使使用者不在實驗室也能夠對實驗室進行藥品監控動作。
2. 可以同時偵測來源影像內不同大小、形狀之化學藥瓶，對於較混雜之化學藥瓶存放環境也可有一定的偵測成果。
3. 偵測 GHS 危害圖示時，由於待測影像中化學藥瓶面對角度非正對攝影機，而是位於瓶

身之邊緣使 GHS 危害圖示扭曲。利用鏈碼直方圖比對即可改進此問題而提高偵測準確性。

本化學藥瓶偵測系統使用 PTZ IP 攝影機或是一般取像設備即可完成各化學實驗室系統的架設，並使用鏈碼輪廓比對方法可準確偵測出瓶身所黏貼之 GHS 危害圖示，而要準確偵測到 GHS 危害圖示前提是輪廓曲線要完整，才會使偵測結果較佳，並有利於後續的 GHS 之 9 種危害圖示辨識。且亦可使用取得之 GHS 危害圖示作為未來文字辨識的定位參考位置。若配合強健的文字辨識(Optical Character Recognition,OCR)引擎，由標籤取得藥劑名稱及其他相關資訊，則可以對化學實驗室藥品進行更完善的管理。

參考文獻

- [1] Shunichi Kaneko, Yutaka Satoh, and Satoru Igarashi, "Using Selective Correlation Coefficient for Robust Image Registration," *The Journal of The Pattern Recognition society*, Vol. 36, pp. 1165-1173, 2003.
- [2] Takahito Kawanishi, Takayuki Kurozumi, Kunio Kashino, and Shigeru Takagi, "A Fast Template Matching Algorithm with Adaptive kipping Using Inner-Subtemplates Distances," *International Conference on Pattern Recognition*, 2004.
- [3] Robert Smith and Binh Pham, "A Robust Object Category Detection System Using Deformable Shapes," *Machine Vision and Applications*, pp. 119-130, 2008.
- [4] Jamie Shotton, Andrew Blake, and Roberto Cipolla, "Contour-Based Learning for Object Detection," *International Conference on Computer Vision*, 2005.
- [5] Chia-Feng Juang, Wen-Kai Sun, and Guo-Cyuan Chen, "Object Detection by Color Histogram-based Fuzzy Classifier with Support Vector Learning," *Neurocomputing*, Vol. 72, pp. 2464-2476, 2009.
- [6] Paul Viola and Michael Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001.
- [7] Andre Treptow and Andreas Zell, "Real-time Object Tracking for Soccer-robots Without Color Information," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 48, pp. 41-48, 2004.
- [8] Yoav Freund and Robert E. Schapire, "A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting," *journal of computer and system sciences*, Vol. 55, pp. 119-139, 1997.
- [9] Rainer Lienhart, Alexander Kuranov, and Vadim Pisarevsky, "Empirical Analysis of Detection Cascades of Boosted Classifiers for Rapid Object Detection," *Intel Corporation*, 2002.
- [10] Herbert Freeman, "Computer Processing of Line-Drawing Image," *Computing Survey*, Vol. 6, No.1, 1974.