

以電腦視覺技術為基礎之環境安全監控系統

Environment Safety Surveillance System Using Computer Vision

陳士農

亞洲大學資訊工程學系

nung@asia.edu.tw

許賀然

亞洲大學資訊工程學系

g95241018@ms1.asia.edu.tw

摘要

近年來智慧型數位監控系統的快速發展，已不再侷限於一般傳統監控系統的功能，新式的多攝影機監控系統具備自動偵測、追蹤移動物件、進而辨識移動物件之身分與行為分析等功能，來達到多攝影機監控系統之間的即時安全防護與危機處理。本論文利用電腦視覺技術，找出前景物件與背景物件，再利用影像之間的物件關聯與物件區塊顏色，做為多攝影機間的物件辨識方法，當物件由當前攝影機移動至另一攝影機時，以區塊顏色為基準辨識物件且持續追蹤，並分析與記錄各個物件的出現時間與行進路徑，提供使用者日後查詢。系統經實作驗證，用於室內即時監控，系統於辨識正確率與處理速度均有一定水準；但用於室外即時監控時，辨識正確率受到光源影響而有所降低，這將是系統日後改進的目標。

關鍵字：電腦視覺(computer vision)、環境安全監控(environment safety surveillance)、即時偵測(real-time detection)、影像處理(image processing)。

一、簡介

本論文提出一個以電腦視覺技術為基礎之環境安全監控系統，此系統利用電腦視覺技術，並結合多部攝影機，擷取影像進行分析與記錄，來達到物件追蹤、辨識，分析與記錄之功能。以往傳統的監控系統無法將各個攝影機中的物件進行關聯追蹤、辨識，進而達到分析與記錄，當異常事件發生時，必須調閱所有攝影機的影像記錄，來查詢可疑人物的所有路徑。所以如果監控系統可以自動將各個攝影機近進行關聯追蹤且辨識物件，並將辨識出的物件進行分析與記錄，便可減少許多人力與時間。例如當發生竊案時，員警必須將所有路口的監控攝影機影像記錄調閱出來，並逐一比對嫌犯的特徵與行動路徑，這將消耗非常多的人力與時間，因此如能在監控系統加上物件關聯追蹤與辨識功能，並記錄嫌犯的行動路徑，當發生竊案時，員警

可在第一時間，知道嫌犯的路徑，不僅可省下許多的人力與時間，更可加快破案的速度。

二、相關研究

隨著電腦視覺技術的進步與監控系統的普及，物件偵測與追蹤技術[1, 2]已有趨近人為監控之水準。經由攝影機擷取影像，接著對擷取影像進行處理、分析、量測或辨識的動作，並且解釋影像畫面與實景環境的關聯，以更嚴謹監控環境。

Oren [3]等人提出一套針對行人以小波模板(wavelet template)進行物件偵測的系統。Mohan [4]等人提出將監控影像中的人，分成頭、左手、右手和腳四個部份，用這四個部份分別進行偵測，再將偵測出的物件分為人或非人，接著以投票和小波轉換的方式將數據放入 SVM (Support Vector Machines)進行訓練，最後再將頭、左手、右手和腳四個物件做組合，如此即可達到偵測效果。

Wren [5]等人提出一套針對人的即時追蹤系統 Pfinder，此追蹤系統利用色彩模型和外型的多重統計模型來將前景與背景分離，並且能夠大區域持續追蹤頭和身體。Haritaoglu [6]等人提出一個以紅外線裝置或灰階影像，對頭、手、腳和身體等輪廓資訊進行追蹤的系統，此系統可用於戶外環境，並且可處理物體合併的情形。Tsai [7]等人提出在影像序列中，利用追蹤模型來追蹤特定的區域，透過此模型，即使背景動態改變也能夠追蹤的很好。

林文祥[8]提出一個即時偵測與追蹤系統，首先利用背景相減法得到前景，並對前景各別建立彩色直方圖模型。追蹤時分為兩種狀態，一個是未發生合併的狀態，另一個是發生合併的狀態。當物體未發生合併時，使用關聯性區塊比對來追蹤；當物體發生合併時，則使用彩色直方圖模型來比對追蹤。如此即可對畫面中的影像進行監控。Borja [9]等人提出以主成份分析法(Principal Component Analysis, PCA)來偵測和辨識影像，此系統被應用於靜態影像。首先識別器會以各個不同的比率來檢視影像中的各個位置。接著系統將努力排除錯誤的偵測。識別器以 PCA 為基礎，目的在計算 PCA 壓縮最佳影像的各個主要成份。此方法必需經由訓練

來學習，所以需要大量的圖片來訓練，使系統能夠正確的學習到各種狀況。此系統能偵測行人的正面和背面，儘管不被訓練也能察覺行人的側邊。

三、研究方法

首先，系統分別擷取各個攝影機的個別即時影像畫面，再經由前景物件偵測、顏色統計、物件追蹤、物件辨識等步驟，並重覆此流程，以產生物件編號。當物件由 A 攝影機移動到 B 攝影機時，B 攝影機可依據物件在 A 攝影機時的區塊顏色追蹤取得物件的顏色資訊，進而判斷此物件是由 A 攝影機走向 B 攝影機，並且將物件資訊記錄起來，以提供使用者查詢，圖 3.1 為系統流程圖。

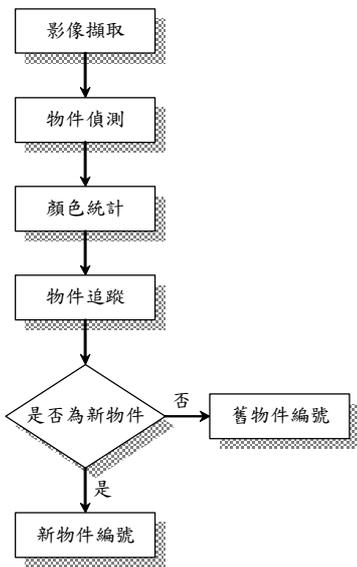


圖 3.1 系統流程圖

3.1 物件偵測

當系統取得攝影機畫面後，無法直接分離前景物件與背景物件，所以必須經由背景相減、影像灰階、影像二值化、雜訊濾除等步驟，並且使用相鄰元素編號演算法(connected component labeling) [10] 來區別物件，最後經不感興趣物件濾除後，僅記錄感興趣的物件。

3.1.1 相鄰元素編號演算法 (Connected Component Labeling)

當攝影機擷取的影像中包含了一個以上的物件時，一般傳統的監控系統並無法區分這些物件。本論文使用相鄰元素編號演算法，此方法是將相連的區塊視為同一物件，並加上編號，以便日後的追蹤與辨識，如圖 3.2 所示，演算法步驟如下：

步驟 1：從圖的最左邊開始，由上而下，由左而右，

依序掃瞄影像畫面的像素值。

步驟 2：當掃瞄到像素值為 255 時，則標記上標籤，然後進入下列的判斷式：

- 判斷 $R_{x+1,y}$ 像素值是否為 255，假若是則標記上相同標記，進入下一層的步驟 2，並且以 $R_{x+1,y}$ 做為起點。
- 判斷 $R_{x,y+1}$ 像素值是否為 255，假若是則標記上相同標記，進入下一層的步驟 2，並且以 $R_{x,y+1}$ 做為起點。
- 判斷 $R_{x-1,y}$ 像素值是否為 255，假若是則標記上相同標記，進入下一層的步驟 2，並且以 $R_{x-1,y}$ 做為起點。
- 判斷 $R_{x,y-1}$ 像素值是否為 255，假若是則標記上相同標記，進入下一層的步驟 2，並且以 $R_{x,y-1}$ 做為起點。
- 以上四個判斷式都不成立時，回到上一層的進入點，並執行其他尚未執行之判斷式。

步驟 3：標記下一個區塊，重覆步驟 2 的判斷式。

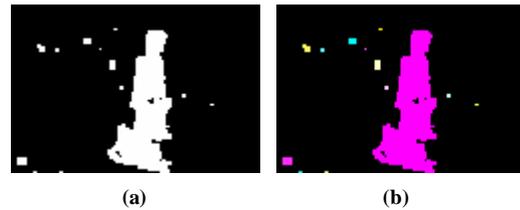


圖 3.2 相鄰元素編號演算法：(a)輸入影像，(b)輸出影像

3.1.2 不感興趣物件濾除與物件記錄

本論文依據感興趣物件的大小來濾除不感興趣物件，因此各個物件必需符合感興趣物件定義的大小條件，否則一律濾除，而當物件符合定義的大小條件時，系統會將此物件的 H_{min} 、 W_{min} 、 H_{max} 、 W_{max} 等資訊記錄在物件座標陣列中，以利往後的追蹤與辨識，如圖 3.3 所示，演算法步驟如下：

步驟 1：輸入影像為 I ， I 的高度為 H_{ing} ， I 的寬度為 W_{ing} ，首先將物件的四個參數值預設為： $H_{max} \leftarrow 0$ 、 $H_{min} \leftarrow H_{ing}$ 、 $W_{max} \leftarrow 0$ 、 $W_{min} \leftarrow W_{ing}$ 。

步驟 2：接著由上而下，由左至右掃瞄影像，並依據相鄰元素編號演算法所記錄的物件標記，利用下列的判斷式找出物件的 H_{min} 、 W_{min} 、 H_{max} 、 W_{max} 等參數值。

$$H_{min} \leftarrow \begin{cases} H_{min}, & I_y > H_{min} \\ I_y, & I_y < H_{min} \end{cases} \quad (1)$$

$$W_{min} \leftarrow \begin{cases} W_{min}, & I_x > W_{min} \\ I_x, & I_x < W_{min} \end{cases} \quad (2)$$

$$H_{\max} \leftarrow \begin{cases} H_{\max}, & I_y < H_{\max} \\ I_y, & I_y > H_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

$$W_{\max} \leftarrow \begin{cases} W_{\max}, & I_x < W_{\max} \\ I_x, & I_x > W_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

步驟 3：找出物件的 H_{\min} 、 W_{\min} 、 H_{\max} 、 W_{\max} 等參數值後，利用下列公式計算物件的高與寬。

$$H_{obj} \leftarrow H_{\max} - H_{\min} \quad (5)$$

$$W_{obj} \leftarrow W_{\max} - W_{\min} \quad (6)$$

步驟 4：當物件的高與寬符合下列門檻值條件時，系統將認定此物件為感興趣物件，並將此物件的 H_{\min} 、 W_{\min} 、 H_{\max} 、 W_{\max} 等資訊記錄在物件座標陣列中，門檻值則視各個攝影機架設位置而定。

條件一： $H_{obj} >$ 門檻值。

條件二： $W_{obj} >$ 門檻值。

步驟 5：繼續下一個物件，直至全部物件都完成判斷為止。

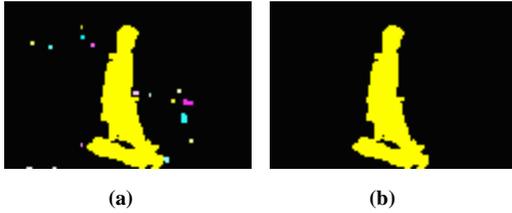


圖 3.3 不感興趣物件濾除：(a)輸入影像，(b)輸出影像

3.2 物件追蹤與辨識

本論文所提出之環境安全監控系統是由多部攝影機架構而成，並且須將各個攝影機所偵測出的物件進行關聯與記錄，所以本論文利用關聯性區塊比對法(correlation based block matching method) [11]與主要色彩描述演算法(dominant color description) [12]，來取得物件資訊，並且記錄這些資訊，以方便使用者查詢。

3.2.1 關聯性區塊比對法(Correlation Based Block Matching Method)

因為影像序列中的各個影像皆為獨立影像的原故，所以無法分辨物件在各個影像中的關聯性，因此本論文利用關聯性區塊比對法，來判斷物件在各個影像序列中的關聯性。

當影像 I_t 中的物件與 I_{t-1} 中的物件有重疊時，系統將認定影像 I_t 中的物件與 I_{t-1} 中的物件是有關聯的，因此將對物件進行追蹤，如圖 3.4 所示，演算法步驟如下：

步驟 1：將影像 I_{t-1} 中所有的物件與影像 I_t 中所有的物件進行比對，公式如下所示：

$$R_{obj} \leftarrow \begin{cases} I_{t-1} \text{ and } I_t[0..n] \\ I_t \text{ and } I_{t-1}[0..n] \end{cases} \quad (7)$$

步驟 2：當影像 I_t 中的物件符合公式(7)時，影像 I_t 中的物件將繼續沿用影像 I_{t-1} 中的物件編號，以達成物件追蹤，當影像 I_t 中的物件不符合公式(7)時，則給予一個新的編號。

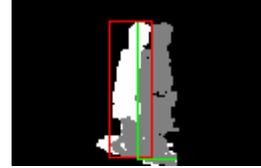


圖 3.4 關聯性區塊比對法：紅框為 I_{t-1} ，綠框為 I_t

3.2.2 主要色彩描述演算法(Dominant Color Description)

當物件從 A 攝影機移動至 B 攝影機時，在 B 攝影機使用區塊顏色來辨識此物件是否與 A 攝影機所偵測到的物件為同一物件。

首先在 A 攝影機利用不感興趣物件濾除後所儲存的感興趣物件座標陣列，將物件分成三個區塊，各別統計每一區塊的 RGB 像素，並記錄在顏色統計陣列中。然後利用關聯性區塊比對法，可以不斷更新此物件的 RGB 顏色統計陣列，當 B 攝影機偵測出一個新物件時，將會比對顏色統計陣列中是否有符合的物件，因此透過此機制將可辨識出 B 攝影機中的新物件是否與 A 攝影機中的物件為同一物件，如圖 3.5 所示，演算法步驟如下：

步驟 1：將物件分成三個區塊，各別統計每一個區塊的 RGB 像素，公式如下所示：

$$O_1 \leftarrow \frac{1}{n_1} RGB(n_1) ; n_1 \leftarrow \text{區塊大小} \quad (8)$$

$$O_2 \leftarrow \frac{1}{n_2} RGB(n_2) ; n_2 \leftarrow \text{區塊大小} \quad (9)$$

$$O_3 \leftarrow \frac{1}{n_3} RGB(n_3) ; n_3 \leftarrow \text{區塊大小} \quad (10)$$

步驟 2：將三個區塊的 RGB 像素統計結果依據關聯性區塊比對法所得之物件編號記錄在顏色統計陣列中，並繼續不斷地追蹤，以持續更新顏色統計陣列。

步驟 3：當 B 攝影機偵測出新的物件時，依據步驟 1 將物件的三個區塊 RGB 像素統計出來，並與顏色統計陣列比對，當有符合的資料時，則新的物件

將會標記上比對出的物件編號，如果無相符合的資料時，則跳回步驟 2。



圖 3.5 主要色彩描述演算法：(a) A 攝影機物件顏色統計，(b) B 攝影機物件顏色統計

3.2.3 多物件追蹤與辨識

當單一攝影機出現多個物件時，系統利用關聯性區塊比對法與主要色彩描述演算法來進行物件追蹤與辨識，並將結果分類為以下類別：

- (a) 無合併分離：當影像 I_t 中的物件與影像 I_{t-1} 中的物件只有一次的關聯時。
- (b) 合併：當影像 I_t 中的物件與影像 I_{t-1} 中的物件有超過一次以上的關聯時。
- (c) 分離：當影像 I_{t-1} 中的物件與影像 I_t 中的物件有超過一次以上的關聯時。

當無合併分離時，系統利用關聯性區塊比對法，並給予物件在影像 I_{t-1} 所關聯的物件編號；當發生合併時，系統將合併的物件認定成一個新的物件，並利用主要色彩描述演算法來進行處理，比對出相對應的顏色，則給予舊編號，否則給予新編號；當發生分離時，系統將分開的物件認定成新出現的物件，並比利用主要色彩描述演算法來進行處理，比對出相對應的顏色，則給予舊編號，否則給予新編號。依據此機制，即可對物件發生合併與分離時，進行物件追蹤與辨識。

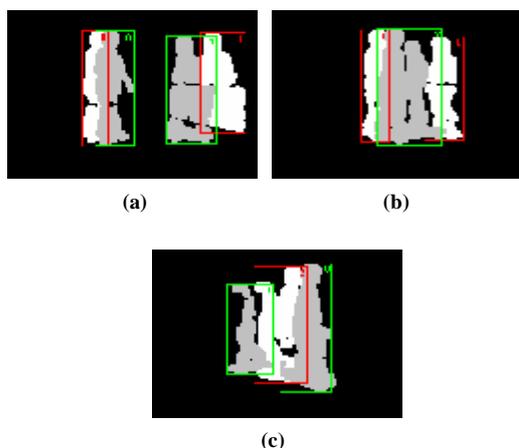


圖 3.6 多物件追蹤與辨識：(a)無合併分離，(b)合併，(c)分離

3.3 物件記錄與查詢

本論文利用關聯性區塊比對法來取得物件編號，並依據主要色彩描述演算法記錄物件在各個攝影機所出現的時間，建立環境安全監控系統之查詢機制，系統可依據物件編號與攝影機編號進行查詢，系統將會列出物件所經過的攝影機編號與時間，或依據攝影機列出所經過的物件編號與時間，以達成更佳之環境安全監控能力。

四、系統實作

本論文利用電腦視覺技術，配合關聯性區塊比對法與主要色彩描述演算法，使各個攝影機都能辨識出物件之關聯性，並記錄各個物件出現的時間與物件的行進路線，以便使用者查詢，達成環境安全監控之目的。

系統實驗環境影響因素包含室內、室外，以及不同的攝影機架設角度等。圖 4.1 為環境安全監控系統實作介面，使用者可依物件或攝影機進行查詢，並可依據物件出現的時間點來顯示影像查詢結果。圖 4.2 為室內物件追蹤辨識之實驗結果，此環境光源穩定，攝影機所拍攝角度相同。圖 4.3 為室外物件追蹤辨識之實驗結果，A 攝影機拍攝到的物件較偏暗，B 攝影機拍攝到的物件較亮。圖 4.4 為室內不同拍攝角度之實驗結果，A 攝影機拍攝到的物件與 B 攝影機拍攝到的物件分佈顏色差異較大。圖 4.5 為室外不同拍攝角度之實驗結果，A 攝影機拍攝到的物件較偏暗，B 攝影機拍攝到的物件較亮，且兩部攝影機拍攝到的物件顏色分佈差異較大。圖 4.6 為多物件追蹤辨識之實驗結果，兩個物件發生合併與分離。圖 4.7 為實驗結果分析，由圖可得知當環境影響因素越多，辨識正確率相對下降。

五、結論與未來研究方向

本論文提出一個以電腦視覺技術為基礎之環境安全監控系統，經實作驗證，本系統能提供優良之物件追蹤與查詢功能，但仍有問題必須克服。由於本系統單以顏色做為辨識的基準，效果仍然有限，當光源、架設攝影機的角度不同、物件群顏色過於相近、物件顏色與背景顏色過於相近，均可能造成辨識正確率下降。如圖 4.7 所示，在室內場景光源較穩定，而室外會受到光源的影響，以及其他雜訊的干擾，導致室外的辨識正確率下降。另外當各個攝影機架設角度相同時，色彩的分配較為平均且容易辨識；而當各個攝影機架設角度不同時，顏色的分配比例相差較大，也導致辨識正確率比攝影機架設角度相同時來的低。未來希望能加以改善光源與攝影機架設角度對於系統影響的問題，並加入更多的辨識機制，來提高辨識正確率。另外可以再加上物件異常行為發生的判斷，讓系統能自動判斷異常行為的發生，以降低人力與物力的需求。

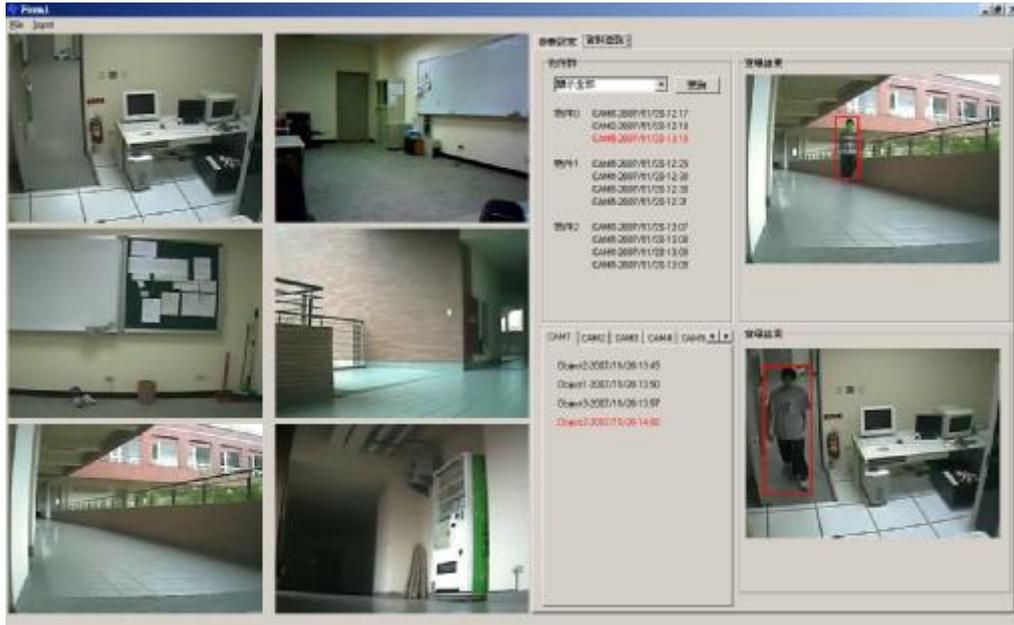


圖 4.1 環境安全監控系統實作介面

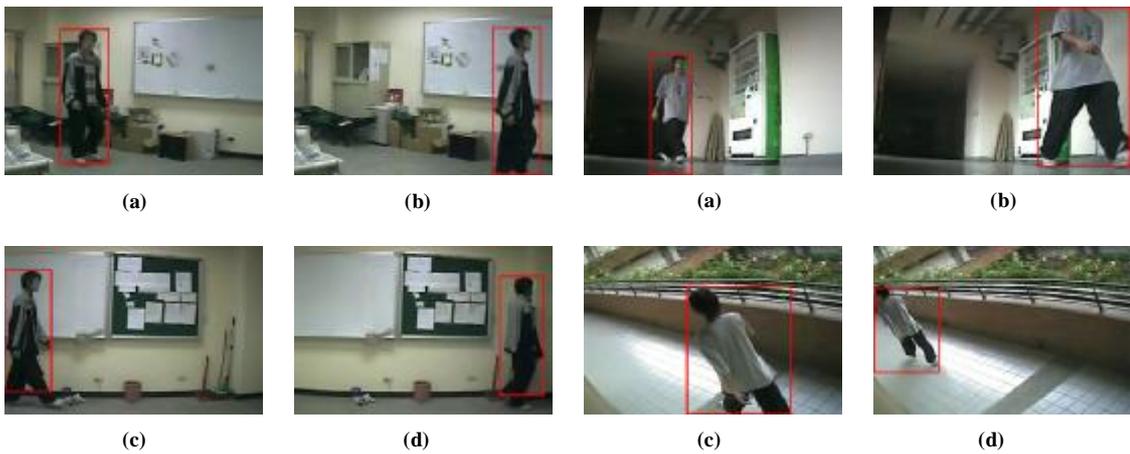


圖 4.2 室內物件追蹤辨識：(a)(b) A 攝影機，(c)(d) B 攝影機

圖 4.4 室外不同拍攝角度物件追蹤辨識：(a)(b) A 攝影機，(c)(d) B 攝影機

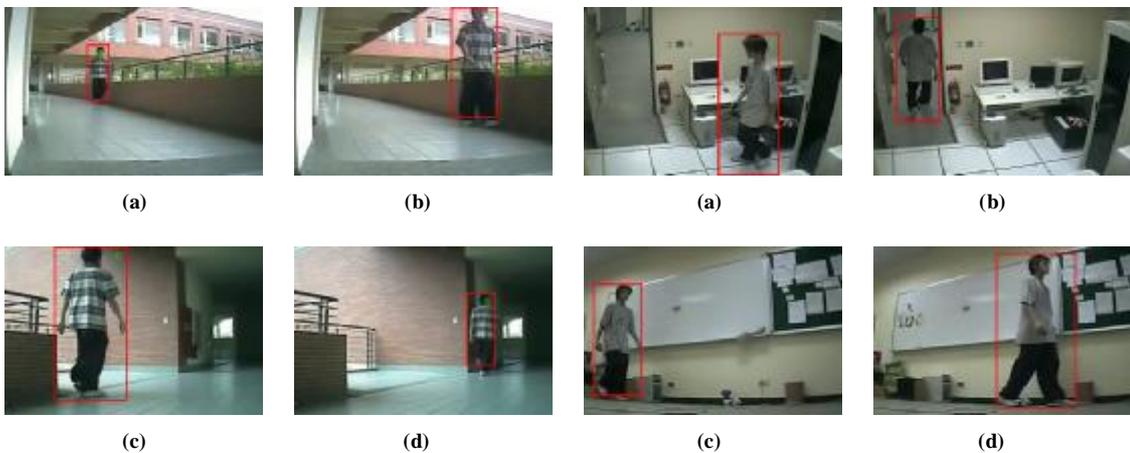


圖 4.3 室外物件追蹤辨識：(a)(b) A 攝影機，(c)(d) B 攝影機

圖 4.5 室內不同拍攝角度物件追蹤辨識：(a)(b) A 攝影機，(c)(d) B 攝影機

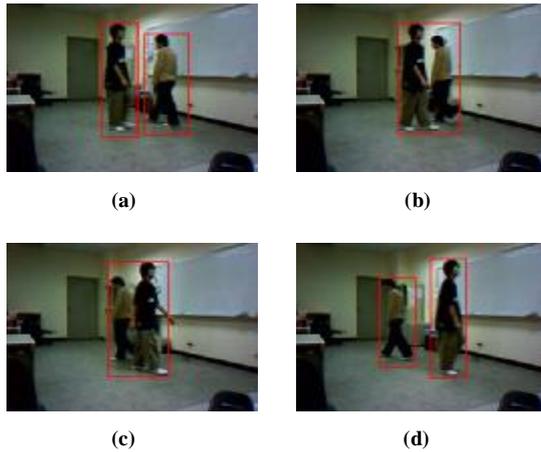


圖 4.6 多物件追蹤辨識：(a)無合併與分離，(b)(c)合併，(d)分離

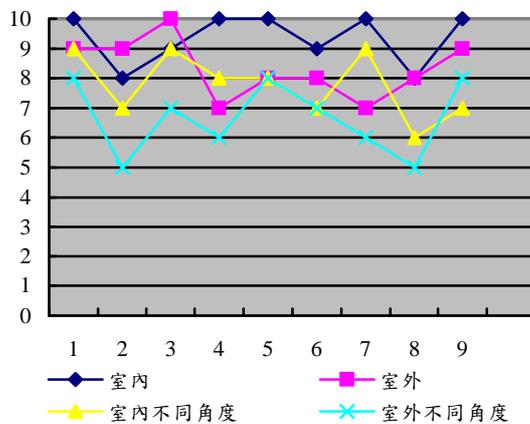


圖 4.7 實驗結果分析

參考文獻

- [1] F. Bremond and M. Thonnat, "Tracking Multiple Non-rigid Objects in Video Sequence," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 8, pp. 585-591, September 1998.
- [2] R. Rosales and S. Sclaroff, "Improved Tracking of Multiple Humans with Trajectory Prediction and Occlusion Modeling," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Workshop on the Interpretation of Visual Motion*, Santa Barbara, CA, 1998.
- [3] M. Oren, C. Papageorgiou, P. Sinha, E. Osuna, and T. Poggio, "Pedestrian Detection Using Wavelet Templates," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 193-199, June 1997.
- [4] A. Mohan, C. Papageorgiou, and T. Poggio, "Example-based Object Detection in Images by Components," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 23, No. 4, pp. 349-361, April 2001.
- [5] C. R. Wren, A. Azarbayejani, T. Darrell, and A. Pentland, "Pfinder: Real-Time Tracking of the Human Body," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 7, pp. 780-785, July 1997.
- [6] I. Haritaoglu, D. Harwood, and L. S. Davis, "W4: Real-time Surveillance of People and Their Activities," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 8, pp. 809-830, August 2000.
- [7] M. H. Tsai and S. J. Wang, "A New Region Tracking Model for Visual Surveillance Systems," *IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (CVGIP)*, July 2006.
- [8] 林文祥，以DSP實現移動物體影像的即時偵測與追蹤系統，國立台灣科技大學電機工程研究所碩士論文，民國95年。
- [9] L. M. Borja and O. Fuentes, "An Object Detection System Using Image Reconstruction with PCA," *Proceedings of the Second Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, pp. 2-8, May 2005.
- [10] L. D. Stefano and A. Bulgarelli, "A Simple and Efficient Connected Components Labeling Algorithm," *Proceedings of 10th International Conference on Image Analysis*, pp. 322-327, 1999.
- [11] 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.
- [12] B. S. Manjunath, J-R Ohm, V. V. Vasudevan, and A. Yamada, "Color and Texture Descriptors," *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 6, June 2001.