

# 多光源環境下之陰影模型建立與 前景物體陰影去除

曾逸鴻

大葉大學資訊管理學系  
aven@mail.dyu.edu.tw

林曉菁

大葉大學資訊管理學系  
mylove\_jay67@yahoo.com.tw

**摘要**—夜間環境較為昏暗，各光源對前景物體造成明顯且多重之陰影，嚴重影響物體偵測的準確度。由於光源的數量、方位與色彩會對物體產生程度不同的陰影效果；本研究以居家常見之白色與黃色光源為標的，提出多光源環境下之陰影模型建立機制，並應用於夜間環境之移動人員偵測。首先，透過分析不同色彩光源，對不同透光物體造成的陰影特性，歸納出陰影像素的判定依據，並記錄至陰影模型；再利用簡易之校正紙與基準桿，以自動判定環境光源之色彩、數量和方位。針對偵測所得之所有前景像素，則先以陰影模型進行初步之陰影像素移除；再根據各光源方位，進行第二階段的陰影像素確認。經由實驗結果中，明顯的物體偵測效果改善成效，驗證本研究提出方法之實用性。

**關鍵詞**—多光源環境、陰影模型建立、陰影判定與去除

## 一、緒論

視訊監控(video surveillance)技術之開發與應用，近年來受到不少研究單位的關注，並在相關領域期刊發表了一些視訊監控研究的論述文章(survey paper) [1-7]。概略來說，視覺式安全監控的技術需求，主要可分為「移動人員偵測、辨識與追蹤」、「動作分析」與「行為理解」三大類。其中，「移動人員偵測」是後續各項技術發展之重要基礎；若可將視訊畫面中的前景物體確實地與背景分離，對於後續的辨識、追蹤、動作分析和行為理解，會有很大的助益。

目前已有較多的研究文獻，分別提出不同方

法，針對各種監控環境，進行前景物體的偵測與類型判定；偶而也針對環境光源造成的物體陰影，提出相關去除方法。然而，「夜間」往往是各種犯罪或破壞行為發生機率較高的時段，燈光又是照亮夜間昏暗環境必然的存在物。因此，不管是背景物體或是移動人員，均會受到環境中各種不同光源的影響，產生特性不同的陰影；使得視訊監控系統，常因為陰影的干擾，而大幅降低夜間環境之物體偵測精確度。

前景物體的偵測技術，可約略分成三類方法：背景相減法(background subtraction)、時間差異法(temporal differencing)、以及光流分析法(optical flow analysis)。背景相減法[8, 9]會將目前的畫面，與事先訓練的背景模型做影像相減；利用各位置之像素色彩差異值，來判定哪些為前景像素點，再組合成前景物體。由於此種方式需要事先建構背景模型，較適合用在背景變動不大的穩定環境中。而時間差異法[10, 11]則將兩張連續畫面之間的相異點，視為可能的前景像素點；過濾掉鬼影像素(ghost pixels)後，即可利用剩餘之前景像素組成物體。此種方法並不需事先訓練，適合使用在背景變動頻繁的環境中。利用光流分析法[12, 13]來偵測前景物體，就是將連續畫面中移動不一致的像素視為前景點，再組合成前景物體。此種方法的計算較複雜、速度較慢，較適合用在追蹤單一移動物體上。

大部分的視訊監控研究，都在明亮的環境下，開發移動物體之偵測、追蹤與後續的行為

分析技術。夜間環境雖仍有亮度稍弱的光源，但因視訊設備拍攝出的畫面往往較為昏暗，環境中各種光源對物體也會形成不同的陰影效果；移動物體的陰影，容易隨著與光源的角度不同，而有較大的變化度，對移動物體偵測與追蹤效果也有顯著的影響[14, 15]。在不同的光照環境下，應採用不同的陰影去除技術；也可以針對光源位置、顏色、強度與移動物體種類等特性，利用一些統計假設，將偵測出之前景像素點，分成物體像素、陰影像素與鬼影像素三類，以得到較準確的移動物體位置[16]。

利用影像投影法[17]，可簡單地將所有前景像素點，分別做垂直及水平方向投影，以找出物體與陰影的交接點。但此方法必須事先知道光源方向，而且只能處理直立的人體，陰影也必須投射在地面。區域亮度法[18]則先將影像分為若干區塊，統計各區塊的亮度平均值；取中位數做為門檻值，以將陰影區塊去除。然而，區塊的大小決定不易，且以區塊為單位的去除效果不佳。直方圖方法[19]則是利用亮度分佈統計，將可能的前景像素點區別為物體像素與陰影像素；但物體間必須彼此獨立，不可互相交錯影響。色彩不變方法[20]則考慮前景像素的亮度(intensity)及彩度(chromaticity)，以及在HSV或RGB色彩空間的失真程度，定義數個門檻值(thresholds)，將可能的前景像素再細分為前景、背景、強光及陰影四類。但此方法僅適用於白光環境，而且陰影和非陰影需有相似的色度。

陰影偵測與去除的方法，多是以統計方式來區分前景、背景及陰影；或是根據生物學與物理學的理论，找出陰影的特性，再加以區別。在夜間微弱光源的環境下，陰影與背景的颜色與亮度對比並不明顯，差異度相對較弱、雜訊度也較大。因此，本研究先分析不同颜色光源，對不同透光性物體造成的陰影效果，建立陰影模型(shadow model)；並透過簡易判定機制，判別監控環境的光源特性，包括颜色、數量與方位。進

行移動物體偵測時，則先利用背景相減法，得出所有可能的前景像素(包含物體與陰影)，再透過環境光源颜色所對應的陰影模型資訊，進行初步的陰影像素判定，將色彩特性符合之像素視為陰影，予以去除。而後，根據各光源所在方位，相對於各物體可能造成的陰影投射區域，再進行細部陰影像素判定。經過兩階段的陰影像素判定與去除，即可提高前景物體之偵測效果。

本研究提出的方法可分成訓練階段與測試階段，流程圖分別如圖1和圖2所示。首先，在事前訓練階段時，分別抽取白燈和黃燈環境下，不同透光性物體的陰影特徵，並訓練為陰影模型。然後，在實地之環境訓練階段，則透過簡易的校正紙與基準桿，並搭配背景模型，擷取基準桿的陰影特性，用以判定拍攝環境中的光源特性，包括颜色、數量與方位。在移動物體偵測之實際測試階段中，即可根據已判定之環境光源特性，從陰影模型中，擷取該類型光源產生之陰影資訊，用以進行陰影像素的初步判定與細部調整，以得到較佳之物體偵測效果。

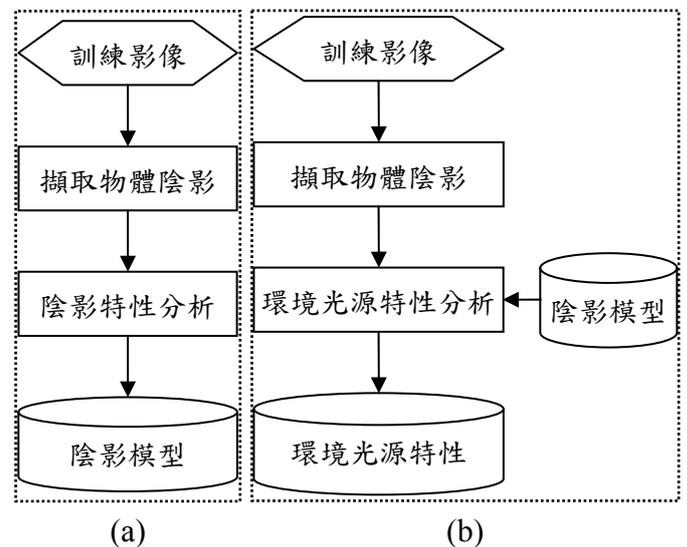


圖 1. 訓練階段系統之流程 (a)陰影模型訓練 (b)環境光源特性判定

本論文後續的第二節將解釋陰影模型的建立方式；第三節將介紹環境光源特性判定方法；

第四節將說明如何利用陰影模型及環境光源特性判定結果，來進行移動物體之陰影像素去除；第五節將描述實驗結果與分析；最後，第六節將提出此研究的結論。

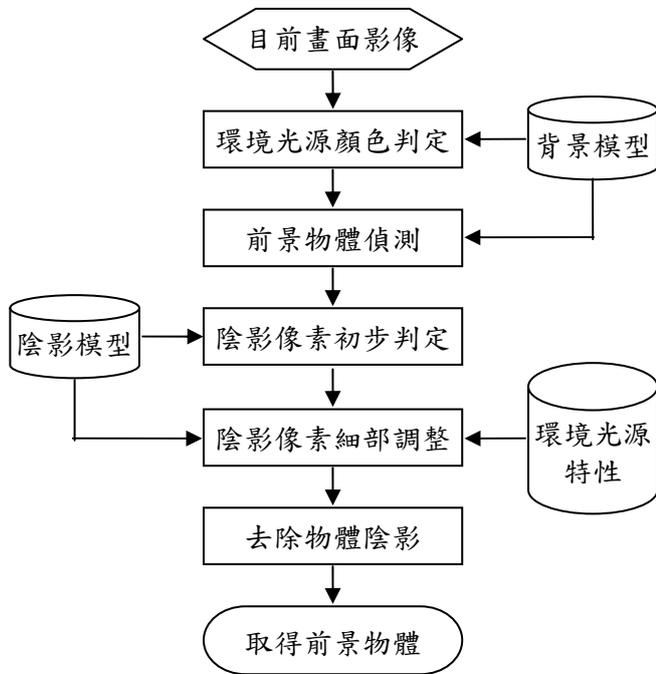


圖 2. 測試階段系統流程

## 二、陰影模型建立

一般居家環境常見的光源色彩為白色和黃色，對於不同透光性的物體，所投射出的陰影特性也不太相同；為建立不同的陰影特質，本研究事先針對白燈和黃燈環境下拍攝之畫面影像，擷取不同透光性物體的陰影特徵，建置陰影模型，以協助後續移動物體偵測時，進行陰影像素的判定與去除。

首先，以一張純白校正紙，將不同透光性物體放置於中心處(如圖 3 所示)。在利用背景相減法所得之差異圖中，將前景物體框選分離後，再回原影像擷取僅剩陰影像素之原始色彩影像(如圖 4 所示)。透過分析各光源對不同透光性物體的陰影效果，即可建立出如公式(1)的陰影模型；其中， $Type_{light}$  為光源色彩型態、

$Type_{perv}$  為物體透光性(light perviousness)型態、而  $ClrInfo_{shadow}$  則是陰影像素之色彩特性。

$$(Type_{light}, Type_{perv}, ClrInfo_{shadow}) \quad (1)$$

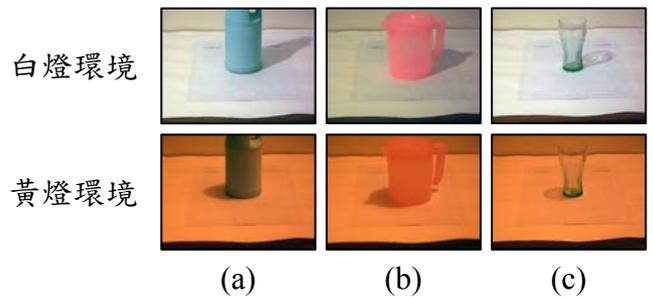


圖 3. 不同透光性物體置於校正紙中心  
(a)不透光物體 (b)半透光物體 (c)全透光物體

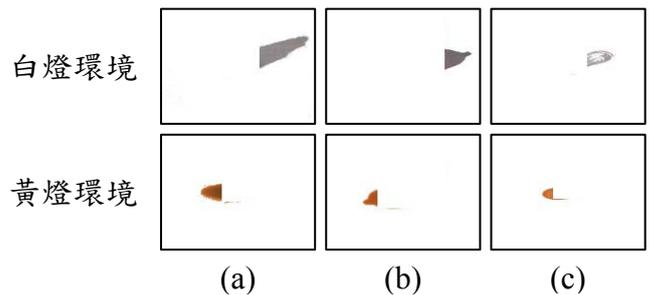


圖 4. 不同透光性物體分離後之僅剩陰影  
(a)不透光物體 (b)半透光物體 (c)全透光物體

擷取出不同色彩光源對不同透光性物體產生的陰影後，統計各陰影像素在每個色彩分量的分佈，可分析陰影像素之色彩特性。以白光對不透光物體照射為例(如圖 5 所示)，物體像素與陰影像素在 RGB 色彩空間的分佈，已有明顯的差異，可訂定適當的門檻值，作為分辨兩類像素的依據。然而，黃燈照射下的不透光物體，在 RGB 色彩空間中，物體與陰影像素的分佈區隔不易(如圖 6 所示)，必須轉換至  $YCbCr$  色彩空間(如圖 7 所示)，並以訂定多重門檻值方式，區隔物體與陰影像素。

根據本研究之分析，其他透光性物體在白光與黃光下的陰影像素分佈特性，與不透光物體類似；因此，在分析像素特性以建立陰影模式時，白燈環境下考量 RGB 色彩空間；而黃光環境下，則以  $YCbCr$  色彩空間為主。

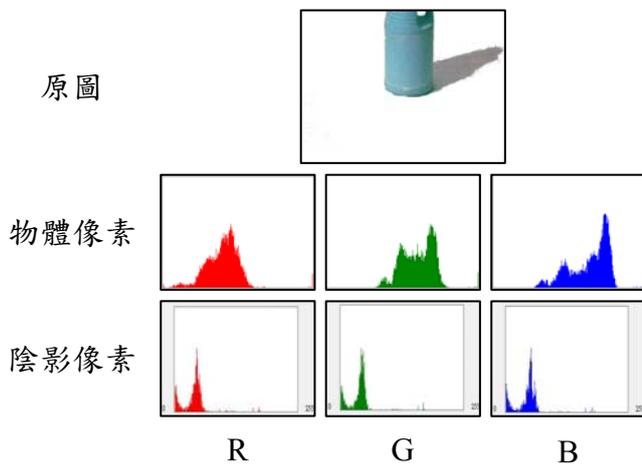


圖 5. 物體與陰影像素在 RGB 色彩空間之分佈 (白燈照射不透光物體)

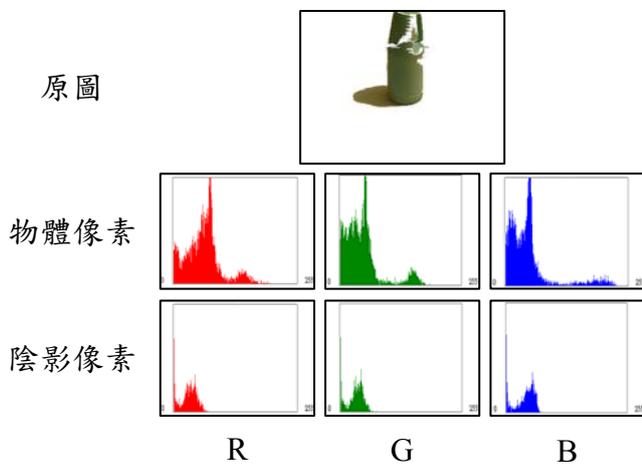


圖 6. 物體與陰影像素在 RGB 色彩空間之分佈 (黃燈照射不透光物體)

不管是何種顏色光源的照射，對物體所產生之陰影像素，相較於相同位置之原背景像素均偏暗，此一特性可視為陰影像素判定時之首要依據。因此，以背景相減方法所得的前景像素  $FgPix(x,y)$ ，必須與原先相同位置的背景像素

$BgPix(x,y)$  進行顏色比較，若符合公式(2)的條件，則表示此前景像素可能為背景像素。

$$Clr_{FgPix}(x,y) - Clr_{BgPix}(x,y) < 0 \quad (2)$$

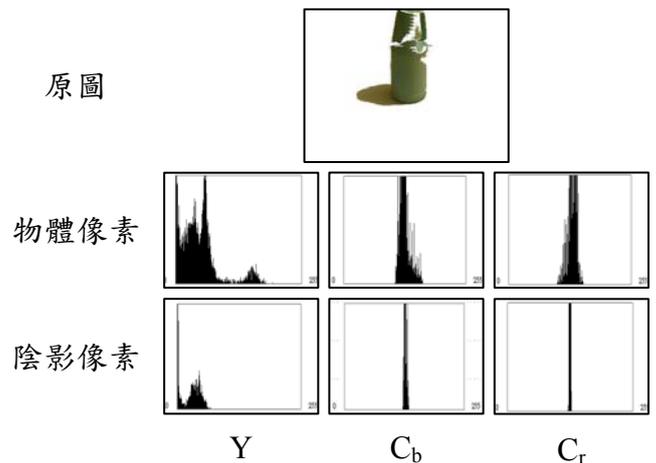


圖 7. 物體與陰影像素在  $YCbCr$  色彩空間之分佈 (黃燈照射不透光物體)

然而，顏色較背景顏色暗的前景像素，不代表一定是陰影點；可能是前景物體的暗色區域(如黑髮)，若僅使用顏色較暗的特性，將無法正確判定所有陰影像素。本研究也觀察到，物體陰影覆蓋在背景環境中，其實是將原背景色彩變暗；經由統計，也發現各顏色分量變暗的程度接近(如圖 8 所示)。因此，陰影像素的另一個重要特性，為與同位置原先背景像素的色彩相較，在三個顏色分量的差異幅度應接近。以採用 RGB 色彩空間的白光環境為例，本研究分別計算  $FgPix(x,y)$  與  $BgPix(x,y)$ ，在三個顏色分量 RGB 的色彩差異值 ( $\Delta R$ 、 $\Delta G$  與  $\Delta B$ ) 後，若符合公式(3)的條件，則表示此前景像素可能為陰影像素。將符合公式(2)與公式(3)條件的前景像素，初步判定為陰影像素並予以去除，所得之結果如圖 9 所示。

$$\begin{aligned}
|\Delta R - \Delta G| &= \Delta RG \\
|\Delta G - \Delta B| &= \Delta GB \\
|\Delta B - \Delta R| &= \Delta BR
\end{aligned}
\tag{3}$$

$$\text{MAX}(\Delta RG, \Delta GB, \Delta BR) - \text{MIN}(\Delta RG, \Delta GB, \Delta BR) \leq \text{Thr}_{FB}$$

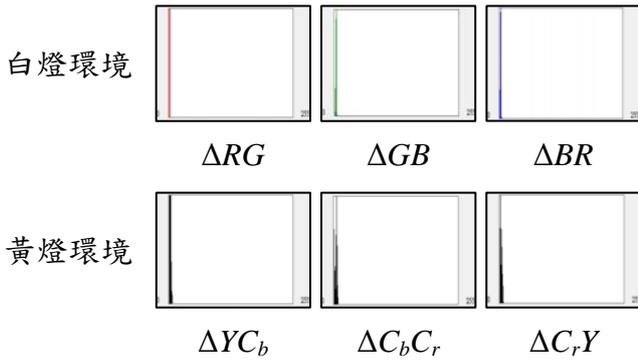


圖 8. 同位置陰影與背景像素之色彩差異分佈

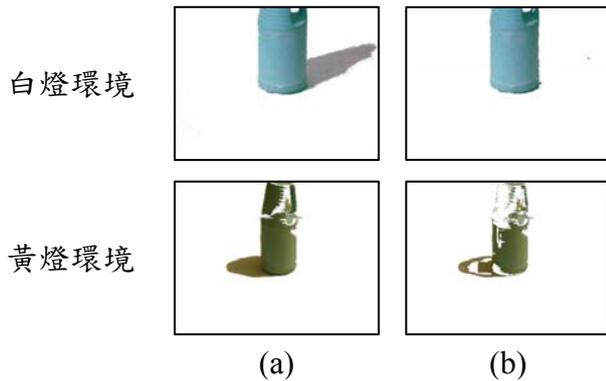


圖 9. 陰影像素之初步判定並去除  
(a)原圖 (b)結果圖

圖 9 的白燈環境下，物體陰影之去除效果明顯且良好；黃燈環境下的物體，則因為光線昏黃，導致一些陰影像素去除不完全，也有部分物體像素誤判為陰影而被去除。若放大陰影色彩門檻值範圍，雖可將絕大多數陰影像素去除，卻會造成物體更行破碎、不完整。因此，為進一步去除剩餘之陰影像素，本研究僅針對陰影可能存在之區域，放大陰影色彩門檻值。首先，需透過環境光源特性的判定，得知目前環境中，照射光源的顏色、數量與方位。然後，

考量各光源之方位，訂出陰影可能形成之區域；再根據光源顏色，從陰影模型中擷取並放鬆相關之陰影色彩門檻範圍，進行陰影像素之細部判定，以得到較佳之陰影去除成果。

### 三、環境光源特性判定

本研究針對夜間居家環境常見的黃色與白色光源，分別利用不同透光性物體，進行陰影像素之色彩分析，並記錄訓練所得之相關門檻值，以建立陰影模型。由於陰影之特性，除了與環境光源顏色相關之外，在判定陰影像素時，僅使用陰影模型中記錄之門檻值，所得之陰影去除效果仍不夠完全。本研究提出透過簡易方法，先針對監控環境之光源特性進行判別，再配合陰影模型，進行陰影像素之細部判定，可得到較滿意之物體陰影去除效果，及相對精確的物體偵測結果。

#### (一) 環境光源色彩

在陰影模型的訓練過程中，本研究以居家環境常見的白色與黃色光源為主，分別分析其對不同透光物體產生之陰影特性，而記錄陰影像素的相關門檻值。實際應用在前景物體偵測時，則以簡易的方式，先對監控環境之光源色彩進行快速的判定。由於環境的光源數量可能不止一個，而且光源色彩也會產生相互的干擾；環境光源色彩的判定，應以全域的角度來看，也就是各光源的照射下，對整體環境色彩的量測。

本研究將環境色彩判定之結果，區分為「純白光」、「純黃光」與「白黃混合光」三大類。首先，以純白色的校正紙，置放於三類光源色彩環境中，拍攝所得之畫面，如圖10所示。然後，擷取各類光源環境中，校正紙區域上的像素顏色，其RGB三原色的分佈，如圖11(a)-(c)所示；其中，藍色B之分佈圖有較大的區隔性，可如圖11(d)所繪，以兩個適當門檻值，來判定

環境光源色彩之類型。

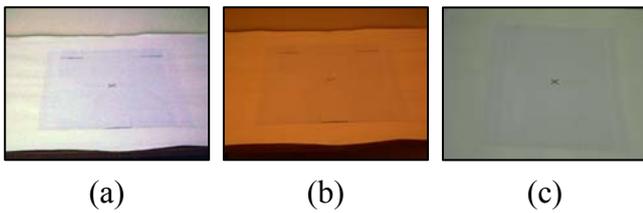


圖 10. 三類環境光源色彩下之純白校正紙  
(a)純白光 (b)純黃光 (c)白黃混合光

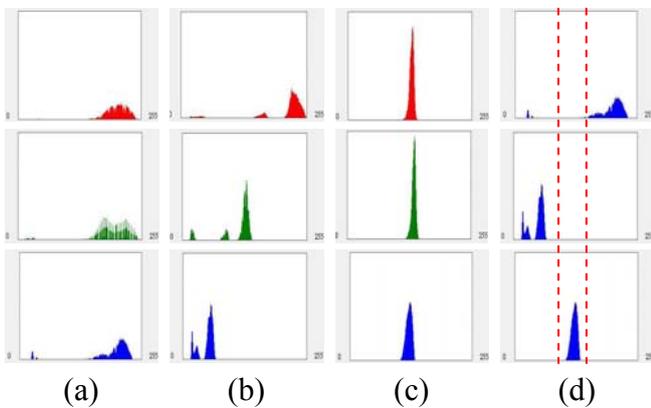


圖 11. 三類環境光源色彩下之校正紙像素色彩分佈 (a)純白光 (b)純黃光 (c)白黃混合光  
(d)藍色分佈可用以判定環境光源色彩

## (二) 環境光源數量與方位

由於在多光源的環境下，各光源對物體會產生各別的陰影；在陰影像素判定與去除時，往往需要考慮光源的數量與所在方位，以判定物體陰影可能存在之位置，提升陰影去除之效果。為判定視訊監控環境之光源數量與方位，本研究在校正紙中心放置一根細長之基準桿，透過在校正紙上偵測所得之基準桿陰影數量、長度及位置，即可用以估算該環境之光源數量與方位。圖 13(a)為置放校正紙上的基準桿，圖 13(b)則為透過背景相減法得出之基準桿陰影。

由於基準桿陰影具有寬度，為透過基準桿與陰影端點來估算光源所在之方位，本研究先對基準桿陰影利用 Sobel 運算，得出陰影之邊

緣像素(boundary pixels)。再利用霍夫轉換(Hough transform)，進行直線之判定，並記錄各基準桿陰影之代表線段及其端點位置，如圖 12 所示。累計偵測出之陰影線段數量，即可判定此監控環境中之光源數量，並可利用基準桿與陰影端點的相對位置來估算光源之所在方位。

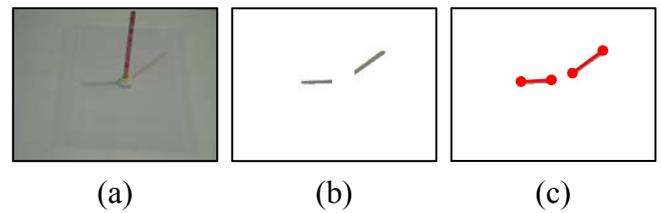


圖 12. (a)校正紙上之基準桿 (b)基準桿陰影及 (c)擷取出之陰影線段及端點

監控環境是三維的立體空間，而校正紙上的基準桿影像卻是二維平面。為了透過平面的基準桿陰影線段，來估算立體環境的光源方位；本研究以攝影機與基準桿所在位置為基準，將立體監控環境區分為「近方端」、「平行端」與「遠方端」三平面。光源位置粗估可能位於三平面上方之兩端點與中心處，合計共八個可投射出陰影的光源位置，如圖 13(a)所示。配合立體空間之光源位置，可將平面上之基準桿投影，區分為八個區域，如圖 13(b)所示。

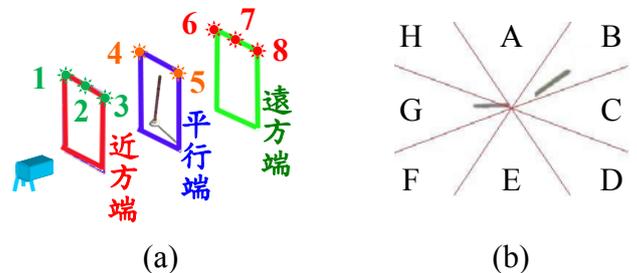


圖 13. (a)立體監控環境之三平面與八個光源可能位置 (b)基準桿陰影的八種平面投射位置

為估算環境中光源所在的方位，本研究先

計算基準桿與其每個陰影線段間的夾角  $\angle t$ ；根據角度大小，先行判定產生該陰影的光源位於哪一個平面上。如圖 14 所示，若  $\angle t$  為鈍角，則光源在遠方端； $\angle t$  接近直角，則光源在平行端；而  $\angle t$  若是銳角，光源則為在近方端。除了判定光源所在的平面外，也會根據角度  $\angle t$  的大小，推估其方位應在立體空間中八個位置的哪一個。在圖 14 中，立體空間中八個光源可能位置，與基準桿陰影的八種平面投射區域的對應關係如表 1 所示。

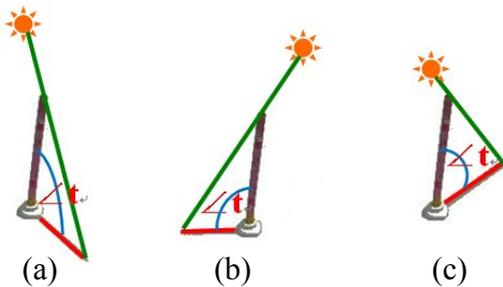


圖 14. 以基準桿與陰影之夾角估算光源所在平面 (a)  $\angle t$  鈍角則光源在遠方端 (b)  $\angle t$  直角則光源在平行端 (c)  $\angle t$  銳角則光源在近方端

表 1. 基準桿陰影投射區域與立體空間光源位置之對應

基準桿陰影投射區域	A	B	C	D	E	F	G	H
立體空間光源位置	2	1	4	6	7	8	5	3

#### 四、移動物體之陰影判定與去除

視訊監控系統中，「前景物體偵測」技術是後續物體辨識與移動追蹤的基礎，必須精確地偵測出前景物體，方可提升辨識與追蹤的效果。透過背景相減方法，可將目前畫面影像與背景模型中記錄之背景資訊進行比對，將差異程度夠明顯的像素點，視為前景像素(如圖 16(a)-(c)所示)，再將鄰近前景像素合併，組合成為前景物體。然而，前景像素點往往包含了

實際的物體像素以及陰影像素。為確實偵測出畫面中的前景物體位置，必須從所有可能的前景像素中，分離並去除陰影像素，以提升物體偵測之精確度。

本研究根據夜間居家環境常見的光源顏色，分別針對不同透光物體產生之陰影像素色彩進行分析，建立陰影模型；並透過純白色校正紙與垂直基準桿的投影狀況，自動判定監控環境之整體光亮色彩，以及光源之數量與方位。針對畫面影像中，與背景模型差異較大之前景像素點，提出兩階段之陰影像素判定流程。首先，根據已判定之環境整體色彩，以陰影模型中記錄之相關門檻值，對所有前景像素點進行陰影之初步判定，將符合陰影色彩特性之前景像素視為陰影予以去除，並組合成暫時之前景物體(如圖 15 所示)。剩餘之前景像素，再利用已判定之環境光源數量與方位，從目前物體之陰影可能位置中，細部進行陰影像素之去除(如圖 16 所示)。

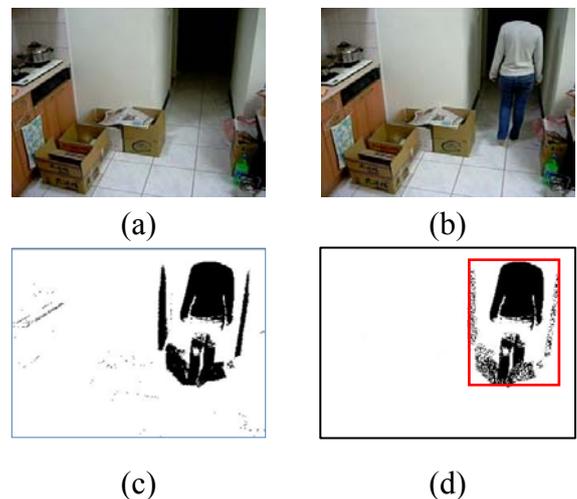


圖 15. 利用背景相減法所得之前景像素及初步陰影去除結果 (a)背景模型影像 (b)目前畫面影像 (c)前景像素偵測結果 (d)初步陰影像素去除結果

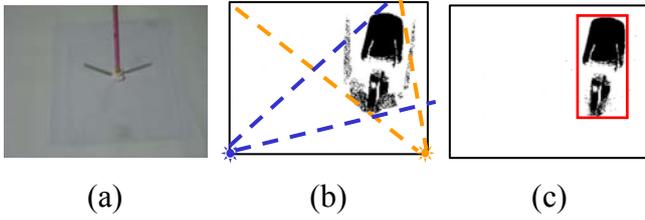


圖 16. 陰影像素之細部調整 (a)判斷光源數量與方位 (b)陰影可能之投射區域 (c)細部判定並去除物體陰影之結果

### 五、實驗結果與分析

本研究開發在多光源環境下的移動物體偵測系統，包括陰影模型之建立機制、環境光源特性之判定、以及前景物體之陰影像素去除。此系統乃以 C# 程式語言，在 Visual Studio 2005 環境開發，並在具 2.4GHz 處理器與 4G 記憶體之筆記型電腦上執行。攝影設備為 210 萬畫素之 Sony DCR-TRV60，實驗環境為具穩定多光源的夜間室內空間。實驗影片來源為預錄的 AVI 影片，擷取的畫面影像大小則為 320×240 Pixels。

為了實驗移動物體偵測的效果，本研究共拍攝八類的視訊影片，內容特性如表 2 所示。首先，驗證本論文所提方法判定環境光源特性(包括顏色、數量與方位)之準確性；從光源方式分類之四種視訊中，擷取 200 張畫面，分別以系統判定與人工確認方式，進行準確性的評估，其效果如表 3 所示。

在異色多光源環境的情況下，所判定出光源顏色及方位之效果較差，但與實際的光源位置差距不大；主要錯誤原因，在於不同顏色光源的投射下，其燈光顏色會互相影響到其基準桿陰影的色彩值。有時是因為多光源的位置距離太相近，使得投射出的基準桿陰影位置幾乎重疊，以致誤判為單一陰影，讓估算出的光源數量及方位發生錯誤。

表 2. 八類實驗視訊影片之內容特性

畫面特性 \ 視訊類別		一	二	三	四	五	六	七	八
		單一白燈	單一黃燈	同色多光源	異色多光源	單一移動人員	多重移動人員		
光源	單一白燈	v	v						
	單一黃燈			v	v				
	同色多光源					v	v		
	異色多光源							v	v
物體	單一移動人員	v		v		v		v	
	多重移動人員		v		v		v		v

表 3. 環境光源特性判定之結果

畫面特性 \ 特性判定	光源顏色 (整體環境)	光源數量	光源方位
	單一白燈	100%	100%
單一黃燈	100%	100%	100%
同色多光源	98%	94%	94%
異色多光源	92%	86%	85%

對於物體陰影去除效果的量測部分，本研究則以系統偵測出的前景物體位置，與人工正確框選的物體位置進行比對。假設人工框選之前景物體之矩形邊界對角座標分別為  $(T_{art}, T_{art})$  與  $(R_{art}, B_{art})$ ，而本系統偵測出之物體邊界座標為  $(L_{sys}, T_{sys})$  與  $(R_{sys}, B_{sys})$ 。求得兩區域之重疊範圍面積  $Area_{ovlap}$  後，再計算其精確率 (Precision rate, 公式(4)) 以及召回率 (Recall rate, 公式(5))，若  $Rate_{prev}$  與  $Rate_{rec}$  兩者皆大於門檻值 80%，才將此物體之系統偵測結果視為正確。針對八類測試視訊進行前景物體偵測，結果如表 4 所示。

$$Rate_{prev} = \frac{Area_{ovlap}}{Area_{sys}} \quad (4)$$

$$Rate_{rec} = \frac{Area_{ovlap}}{Area_{art}} \quad (5)$$

表4. 前景物體偵測結果

視訊類別 \ 使用方法	未去除陰影	兩階段去除陰影
第一類	47.3%	90.9%
第二類	34.1%	89.1%
第三類	39.8%	81.2%
第四類	40.0%	81.7%
第五類	42.4%	84.0%
第六類	42.1%	89.2%
第七類	39.6%	80.6%
第八類	35.8%	80.1%

## 六、結論

由於光源的數量、位置與色彩會對物體產生程度不同的陰影效果；本研究以居家常見之白色與黃色光源為標的，提出多光源環境下之陰影模型建立機制，並應用於夜間環境之移動人員偵測。透過分析不同色彩光源，對不同透光物體造成的陰影特性，歸納出陰影像素的兩種判定依據，並記錄陰影特性與相關門檻值，建立陰影模型。也利用簡易之校正紙與基準桿，自動判定環境光源之色彩類型、數量和方位。針對偵測所得之所有前景像素，以該光源色彩之陰影模型，進行初步之陰影像素移除；再透過各光源可能造成之陰影區域，搭配陰影模型，進行第二階段的陰影像素確認並去除。

本研究的後續研究，將著重在移動式光源對物體產生變動陰影之特性分析與去除，並與後續之物體型態辨識、移動物體追蹤等進行整合，以提升視訊監控系統之夜間應用。

## 致謝

本文承蒙經濟部學界科專計畫（編號：97-EC-17-A-02-S1-032）與國科會研究計畫（編號：NSC 98-2221-E-212-028）補助，特此致謝。

## 參考文獻

- [1] J. K. Aggarwal and Q. Cai, "Human motion analysis: a review," *Computer Vision and Image Understanding*, 73(3), 428-440, 1999.
- [2] D. M. Gavrila, "The visual analysis of human movement: a survey," *Computer Vision and Image Understanding*, 73(1), 82-98, 1999.
- [3] T. B. Moeslund and E. Granum, "A survey of computer vision-based human motion capture," *Computer Vision and Image Understanding*, 81(3), 231-268, 2001.
- [4] L. Wang, W. Hu, and T. Tan, "Recent developments in human motion analysis," *Pattern Recognition*, 36(3), 585-601, 2003.
- [5] W. Hu, T. Tan, L. Wang, and S. Maybank, "A survey on visual surveillance of object motion and behaviors," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 34, 334-352, 2004.
- [6] S. D. Roy, S. Chaudhury, and S. Banerjee, "Active recognition through next view planning: A survey," *Pattern Recognition*, 37, 429-446, 2004.
- [7] T. B. Moeslund, A. Hilton, and V. Kruger, "A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis," *Computer Vision and Image Understanding*, 104, 90-126, 2006.

- [8] Q. Zang, R. Klette, “Robust background subtraction and maintenance,” In: *Proceedings of International Conference on Pattern Recognition*, 90-93, 2004.
- [9] L. Li, W. Huang, I. Y. H. Gu, and Q. Tian, “Statistical modeling of complex backgrounds for foreground object detection,” *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(11), 1459-1472, 2004.
- [10] R. T. Collins, A. J. Lipton, T. Kanade, H. Fujiyoshi, D. Duggins, Y. Tsin, D. Tolliver, N. Enomoto, O. Hasegawa, P. Burt and L. Wixson, “A system for video surveillance and monitoring,” *Technical report*, CMU-RI-TR-00-12, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, May, 2000.
- [11] F. H. Cheng and Y. L. Chen, “Real time multiple objects tracking and identification based on discrete wavelet transform,” *Pattern Recognition*, 39(6), 1126-1139, 2006.
- [12] M. Tagliasacchi, “A genetic algorithm for optical flow estimation,” *Image and Vision Computing*, 25, 141-147, 2007.
- [13] J. S. Zelek, “Towards Bayesian real-time optical flow,” *Image and Vision Computing*, 22, 1051-1069, 2004.
- [14] A. Prati, I. Mikic, M. M. Trivedi, and R. Cucchiara, “Detecting moving shadows: algorithms and evaluation,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(7), 918-923, 2003.
- [15] H. Tao, H. S. Sawhney, and R. Kumar, “Object tracking with Bayesian estimation of dynamic layer representations,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(1), 75-89, 2002.
- [16] R. Cucchiara, M. Piccardi, and A. Prati, “Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(10), 1337-1342, 2003.
- [17] J. W. Hsieh, W. F. Hu, C. J. Chang, and Y. S. Chen, “Shadow elimination for effective moving object detection by Gaussian shadow modeling,” *Image and Vision Computing*, 21(6), 505-516, 2003.
- [18] J. M. Scanlan, D. M. Chabries, and R. W. Christiansen, “A shadow detection and removal algorithm for 2-D images. In: *Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 4, 2057-2060, 1990.
- [19] I. Mikic, P. C. Cosman, G. T. Kogut, and M. M. Trivedi, “Moving shadow and object detection in traffic scenes,” In: *Proceedings of International Conference on Pattern Recognition*, 321-324, 1998.
- [20] R. Cucchiara, C. Grana, M. Piccardi, A. Prati, and S. Sirotti, “Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information,” In: *Proceedings of International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 334-339, 2001.