

基於色彩空間調變及粒子濾波器實現即時目標

影像追蹤之研究

陳仕銘

國立彰化師範大學
電機工程學系碩士班

m0052016@mail.ncue.edu.tw

黃羽賢

國立彰化師範大學
電機工程學系博士班

d0052005@mail.ncue.edu.tw

鍾翼能

國立彰化師範大學
電機工程學系教授

yunchung@cc.ncue.edu.tw

摘要

近幾年，隨著監視系統的普及以及數位影像處理技術的進步，自動化即時監視系統(real-time surveillance system)逐漸成為重要的研究目標之一。本篇論文提出一種對於影像中運動目標的即時追蹤方法，結合粒子濾波器對觀測目標作預測及追蹤的步驟。本系統分為下列三個部分：第一部分為前景分割，將移動目標與背景做影像分割；第二部份是影像處理，將分割出來的影像做一系列的處理，把不必要的雜訊予以濾除，並標記移動目標做一個框選的動作；第三部份是利用粒子濾波器做目標追蹤，利用先前以及當前狀態去估測出移動目標下一刻的狀態位置，並追蹤其目標。實驗結果證實，本論文提出的影像處理技術可確實達到及時追蹤的目的。

關鍵詞：自動化即時監視系統、粒子濾波器、標記。

Abstract

In recent years, for the popularity of general monitor product and the advancement of digital image processing technology, numerous studies for automated real-time surveillance system have becoming the major researches in this field. This paper proposes an approach tracking the move objects in real time, to forecast and trace the observing targets based on the particle filter. This system should include three sections. The first is the foreground segmentation to separate the move objects from the image background. Then, the second part is image processing to the divided objects which have filtering out the noises and marking the move targets with frame. The final part is using

the particle filter to trace objects. To estimate the next state and track the move objects, it employs the prior and current state base on the particle filter. As the experimental result, this proposed method is proved to be accurate and real time for tracking the objects.

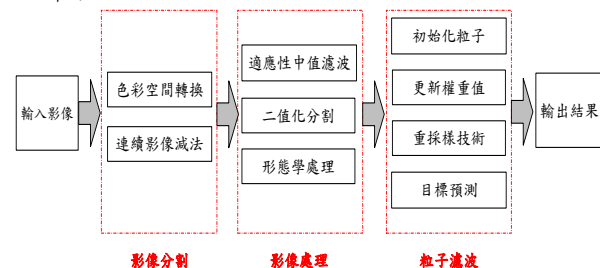
Keywords: automated real-time surveillance system, particle filter, mark.

1. 前言

隨著硬體的更新以及自動化的趨勢，近幾年來影像追蹤的自動化監控系統[1-2]是當前熱門的研究領域之一，數位影像處理技術同樣地也發展得相當迅速，其中就以粒子濾波器[3-5]最為顯著。粒子濾波早在 20 世紀 50 年代，就在統計學及理論物理上得以應用，並於 60 年代末被研究應用於自動化控制領域上，目前粒子濾波主要在定位及追蹤上有著相當顯著的貢獻。

2. 系統架構及工作原理

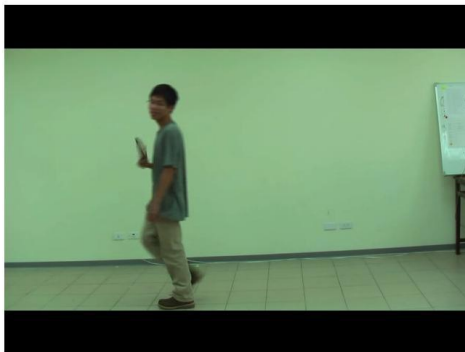
在影像追蹤上，我們必須先將所得到的影像做一個影像前處理的步驟，讓前景目標以及背景做一個適當的隔離，以此得到我們所要的移動目標。再利用適當地濾波處理解決影像雜訊及邊緣問題，最後使用形態學的方法讓移動目標可以更清楚地表示出來，系統方塊圖如圖 1 所示。



2.1 移動目標偵測

移動目標偵測在影像追蹤上是相當重要的一環，以固定攝影機而言，在影片中當像素成分發生變動時，通常是由移動的物體所造成的，所以找出移動中的物體便是我們主要的目的。在移動目標偵測上一般分為三種，第一是光流法(Optical Flow)[6-7]，利用物體在移動時亮度也會產生變化的特點來偵測移動中的物體，但是其運算量高，且對於影像中有光照變化產生時會有失靈的情況發生；第二是背景相減法(Background Subtraction)[8-9]，先建立參考背景後，再用當前的影像做相減即可得到前景目標，但是其受光影響很大，且當背景資訊發生變動時必須即時修正參考背景；所以本文採用最後一種方法，連續影像減法(Temporal Differencing)[10]，相較於光流法可以大大降低在運算上時間以達到即時的效果，在背景上也適用於動態背景，不用持續更新參考背景，且相較於其他兩種方法，對於光照變化的影響明顯較小。

圖 2(a)是在室內環境下所拍攝的影像原圖，我們將影像串列中該 RGB 影像與前一影像作相減，即可得出移動中的目標，如圖 1(b)所示。



(a)



(b)

圖 2 (a)影像原圖(b)RGB影像相減後結果

2.2 空間轉換

一般我們在做目標追蹤時，光照度變化以及其照光下所產生的陰影一直都是一個很大的問題，這個問題會干擾在做目標追蹤時的誤判，導致錯誤的輸出結果，所以我們必須做一個妥善的前置處理，也就是空間轉換。

一般我們所拍攝的彩色影像是一個 $M \times N \times 3$ 的 RGB 色彩陣列，其中每個像素(color pixel)都有所對應的紅、藍、綠成分，可以將 RGB 影像視為三個灰階影像的堆疊。然而還有其他的色彩空間[11-12]，如 NTSC、YCbCr、HSV、HSI、CMY 及 CMYK 色彩空間，依照影像處理的需求不同，會使用不同的色彩空間作轉換，而本文是採用 NTSC 色彩空間。

NTSC 色彩系統於 1952 年由美國國家電視標準委員會制訂的，在 NTSC 格式中影像成分包含了三種成分：照度(luminance)(Y)、色調(hue)(I)以及飽和度(saturation)(Q)，其中照度成分表示其灰階資訊，而其他兩個成分則帶有電視信號的彩色資訊。其色彩空間轉換的公式如下：

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

從我們日常生活中可以發現當陰影產生時，被陰影籠罩的區塊其顏色並不完全是黑色，因為仍有部分的光源從物體表面反射到我們的眼中，因此可以粗略的認為在陰影產生前後，其色調值不會有明顯變化，只有在色彩飽和度及亮度上才有明顯差異，所以我們提取 NTSC 色彩成分-色調來來做連續影像減法的動作。我們以室外作為拍攝環境，當有陰影產生時的情形，如圖 3 所示。為了將圖 3(b)更清楚地顯示，所以將其正規化，如圖 3(c)所示。



(a)



(b)



(c)

圖 3 (a)影像原圖(b)色調(hue)影像相減後結果(c)正規化後的結果

2.3 自適性中值濾波

在影像拍攝上很容易伴隨雜訊的產生，不論是系統上亦或是拍攝場景，所以為了濾除影像中的雜訊，就必須自定一個濾波器來濾除不必要的雜訊，我們採用中值濾波來做一個去除雜訊的步驟。然而一般的中值濾波雖然可以大致上解決雜訊問題，但是它也容易使得原影像變得模糊甚至失真，所以我們必須採用一個適應性的空間濾波器。

自適性中值濾波演算法主要定義兩個階層，如果遮罩內灰階強度的中間值界於最大及最小值之間，且當前處理位置的強度值亦界於最大及最小值間，則輸出為原強度值；若不是

則增加其遮罩大小再行判斷，其餘情況皆輸出為中間值，其設計如下：

- Level A：若 $z_{\min} > z_m > z_{\max}$ ，則到 Level B
 否則增加遮罩大小
 若遮罩大小 $\leq S_{df}$ 則重複 Level A
 否則輸出 z_m
- Level B：若 $z_{\min} > z_{x,y} > z_{\max}$ ，則輸出 $z_{x,y}$
 否則輸出 z_m

其中 $S_{x,y}$ 代表被處理影像中的位置， z_{\min} 、 z_{\max} 、 z_m 為 $S_{x,y}$ 中最小強度值、最大強度值及中間強度值，則 S_{df} 為適應性遮罩最大容許的大小。其濾波後的結果，如圖 4 所示。



圖 4 自適性中值濾波後結果

2.4 形態學處理

我們將上述的結果，取一個適當的門檻值來進行二值化處理，可以更明顯地得到我們所要的移動目標。但是我們所得的結果多少都會有破碎或是未填滿的情況發生，為了可以求得移動中物體的質心位置，所以我們必須將求得的二值影像作形態學的處理。

形態學的處理包括：膨脹、侵蝕、閉合及斷開，每一種處理方法都有不同的效果存在，而本文用到的是閉合處理。閉合在影像處理中，更準確的說法是 A 被 B 形態學上的閉合 (morphological closing)，表示為 $A \cdot B$ ，就是 A 被 B 膨脹後再被 B 侵蝕，其中 A 通常為原二值影像，B 為處理用遮罩，其數學表示式如下所示

$$A \cdot B = \cap \{ (B)_z \mid (B)_z \subseteq A \}$$

其二值化影像與其閉合後的結果，如圖 4 所示，我們可以從圖 5(b) 的影像中計算出移動目標的質心位置。



(a)



(b)

圖 5 (a)二值化影像(b)閉合後的結果

3. 粒子濾波器

近幾年內在目標影像追蹤上，粒子濾波器有著相當顯著的發展及應用，它可以被適用於任何能用狀態空間模型表示的非高斯背景且非線性隨機系統上，它突破了傳統 Kalman 濾波器，對於系統的雜訊以及量測雜訊都沒有任何限制，可以用於任何非線性系統，而且其精確度接近最佳估計，所以在影像追蹤上被大量的投入做為研究。其工作原理是利用由粒子及其權重值組成離散隨機的機率密度函數近似相關的機率分布，並且根據遞迴演算更新其離散隨機的機率密度函數。

3.1 初始化

粒子濾波是一種基於蒙特卡羅法(Monte Carlo method)及遞迴貝氏估計(Bayes' estimating)的統計濾波方法，它依據大數定理採用蒙特卡羅法來求解貝氏估計中的積分運算。所以在初始化設定上，從先驗機率 $P(x_0)$ 產生粒子群 $\{x_0^i\}_{i=1}^{N_s}$ ，而 $\{x_{0:k}^i, i=0, \dots, N_s\}$ 所對應的權重值為 $\{\omega_k^i, i=0, \dots, N_s\}$ ，其中 $x_{0:k}^i = \{x_j, j=0, \dots, k\}$ 是指 0 到 k 時刻的狀態

集，並將所有粒子權重值均設為 $\frac{1}{N_s}$ 。

3.2 更新權重值

將粒子的權重值更新至當前狀態，且於 k 時刻目標狀態的後驗機率分布可以離散地加權為

$$p(x_{0:k} | z_{1:k}) \approx \sum_{i=1}^{N_s} \omega_k^i \delta(x_{0:k} - x_{0:k}^i) \quad (1)$$

又粒子集 $\{x_{0:k}^i\}_{i=1}^{N_s}$ 可由重要密度函數 $q(x_{0:k} | z_{1:k})$ 得到，則權重值為

$$\omega_k^i \propto \frac{p(x_{0:k}^i | z_{1:k})}{q(x_{0:k}^i | z_{1:k})} \quad (2)$$

並將重要密度分解為

$$q(x_{0:k} | z_{1:k}) = q(x_k | x_{0:k-1}, z_{1:k}) q(x_{0:k-1} | z_{1:k-1}) \quad (3)$$

由於後驗機率密度函數可表示為

$$\begin{aligned} p(x_{0:k} | z_{1:k}) &= \frac{p(z_k | x_{0:k}, z_{1:k-1}) p(x_{0:k-1} | z_{1:k-1})}{p(z_k | z_{1:k-1})} \\ &= \frac{p(z_k | x_k) p(x_k | z_{k-1})}{p(z_k | z_{1:k-1})} p(x_{0:k-1} | z_{1:k-1}) \\ &\propto p(z_k | x_k) p(x_k | x_{k-1}) p(x_{0:k-1} | z_{1:k-1}) \quad (4) \end{aligned}$$

將式(2)、式(3)代入式(4)，即可得到重要性權重更新公式為

$$\begin{aligned} \omega_k^i &\propto \frac{p(z_k | x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^i) p(x_{0:k-1}^i | z_{1:k-1})}{q(x_k^i | x_{0:k-1}^i, z_{1:k}) q(x_{0:k-1}^i | z_{1:k-1})} \\ &= \omega_{k-1}^i \frac{p(z_k | x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^i)}{q(x_k^i | x_{0:k-1}^i, z_{1:k})} \quad (5) \end{aligned}$$

3.3 重採樣

由於每個重要性權重值 ω_k^i 都代表了相對應輸入序列 x_k^i 的質量，所以較小的權重值意味著其採樣值並不是來自後驗分布的主要部份，對於最後的估測值貢獻不大，趨於無效樣本，而過多的無效樣本會大大降低粒子濾波器運算的效率，造成退化問題。

為了確定退化程度，所以先定義一個相對有效取樣的近似量測標準 N_{eff} ，其定義如下：

$$N_{eff} = N_s / (1 + \text{var}_{q(\cdot | z_{1:k})}(\omega_k^i)) \leq N_s \quad (6)$$

$\text{var}(\omega_k^i)$ 為 ω_k^i 的平方差，一般無法確切計算 N_{eff} 的數值，但是可以通過下式近似估計：

$$\hat{N}_{eff} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_s} (\omega_k^i)^2} \quad (7)$$

由式子可知，如果 N_{eff} 越小，意味著退化情形越嚴重。所以我們必須先設定一個有效樣本數 $N_{threshold}$ 作為門檻值，當 $N_{eff} = 1 / \sum_{i=1}^{N_s} (\omega_k^i)^2 < N_{threshold}$ 時，則進行重採樣步驟。我們將權值較小的無效樣本捨棄，複製權值較大的有效樣本，以補足先前捨棄的樣本數。其重採樣的示意圖如圖 6 所示：

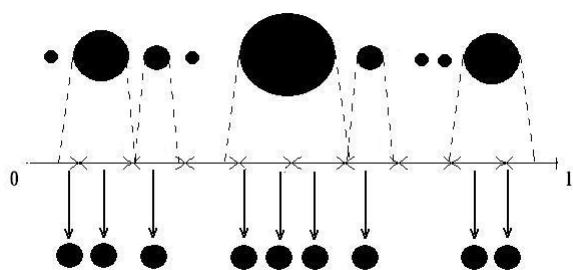


圖 6 重採樣示意圖

圖 5 中，上方的圓圈表示重採樣前的粒子，其圓圈半徑正比於其對應的權重值大小，下方的圓圈則是代表重採樣後的粒子，都擁有相同的權重值 $1/N_s$ 。我們讓權重值較大的粒子分出較多的粒子，增加它可能被採樣的機率，同樣也解決了粒子匱乏與退化問題。

3.4 預測

當我們得到重要密度函數 $q(x_{0:k} | z_{1:k})$ ，歸一化權重值後，就可以推算出以下估測：

$$\text{狀態估測：} \hat{x}_k = \sum_{i=1}^N \omega_k^i x_k^i$$

$$\text{方差估測：} P_k = \sum_{i=1}^N \omega_k^i (x_k^i - \hat{x}_k)(x_k^i - \hat{x}_k)^T$$

3.5 結束運算

在影像讀取的過程中，如果判斷追蹤目標仍在影片當中，就回到 section 3.2 繼續做遞迴演算，持續對影像中的目標做追蹤；但是若目標物從影像中離開或是消失，在判斷沒有目標物的情況下，就停止粒子濾波器的運算，終止對目標的追蹤，才不會浪費時間在計算沒有目標物出現的情況。

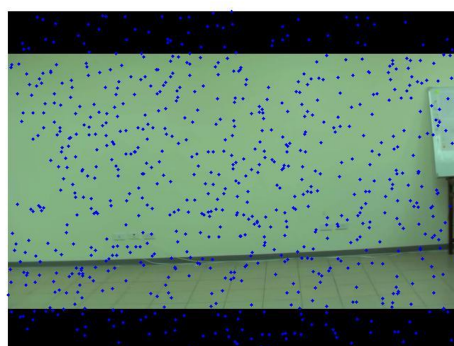
4. 實驗結果

我們套用各種不同的場景來做實驗測試，

有室內、外場景，當中也包含各種會干擾實驗因素的情況，如遮蔽、照度變化及陰影問題。

4.1 室內(均勻照度下)

圖 7 是在無照度變化下的室內環境。從圖 7(a)中我們可以看到在目標進入影像前，粒子已經做好初始化的設定，以均勻分布的形式散播在整個影片中，其中我們設定總粒子數為 500 個，當目標進入影像中時，就開始追蹤並框選出影像目標，我們可以從圖 7(b)(c)看到準確的追蹤情形。



(a)



(b)



(c)

圖 7 (a)粒子初始化(b)(c)追蹤過程

4.2 室外(背景變化下)

於室外場景，我們可以看到我們在追蹤目標的同時，背景隨著陽光照度的不同持續改變，如圖 8 所示，但是不影響其追蹤過程，粒

(d)

子仍準確地追蹤移動中的目標。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 8 (a) (b)(c)(d)背景變動下追蹤過程

4.3 室外(陰影干擾下)

一樣是室外場景，這次在追蹤的過程中伴隨陰影的產生，如圖 9 所示。雖然在產生陰影的瞬間，仍有少部分的粒子被陰影干擾，如圖

9(b)所示，但是粒子可以很快地做出修正，持續追蹤目標。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 9 (a) (b)(c)(d)陰影干擾下追蹤過程

4.4 室外(遮蔽情況下)

影片中可以看到我們的追蹤目標在移動過程中被柱子所遮蔽，如圖 10 所示。在影片中

追蹤目標遭到遮蔽，所以停止粒子濾波器的運算，如圖 10(b)。而當目標再度出現時，粒子濾波器依然可以重新追蹤到我們的目標。



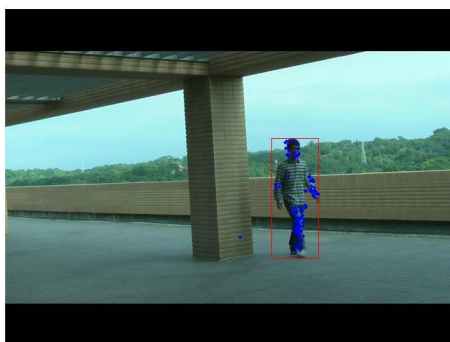
(a)



(b)



(c)



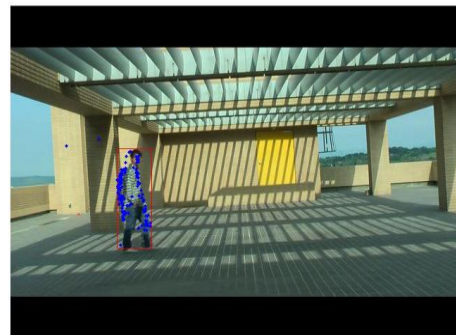
(d)

圖 10 (a)(b)(c)(d)遮蔽情況下追蹤過程

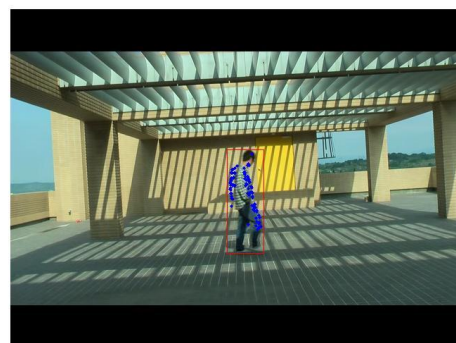
4.5 室外(照度變化下)

在另一場景中，我們可以看到影片的移動

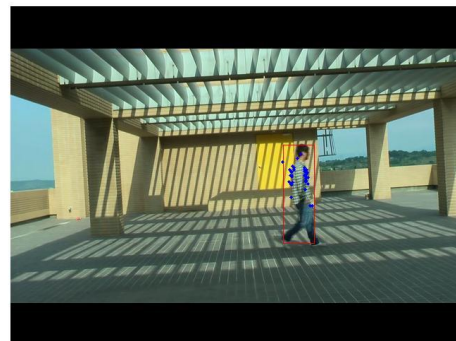
目標因為場景因素受到強烈的光照變化且伴隨著陰影的產生，如圖 11 所示。但是其光照變化以及陰影產生的干擾仍不影響輸出的實驗結果。



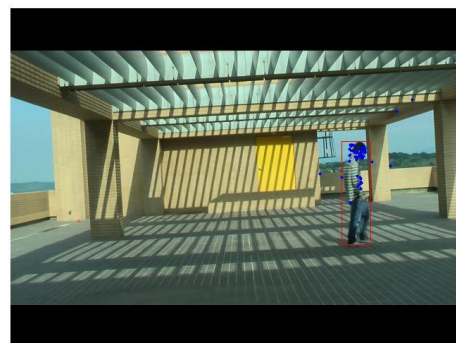
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 11 (a) (b)(c)(d)照度變化下追蹤過程

從上面的實驗中我們取其中三種情況來分

析其歸屬度，一開始我們設計有 500 個粒子投入影像追蹤中，所以我們將前 10% 也就是前 50 個粒子，作每個 frame 的歸屬度均值，如圖 12 所示。其中觀測目標於 0.5 秒時(第 12 個 frame)時出現於影像中，所以先前的歸屬值均為 0，其後可以發現在室內照度均勻的環境下可以得出一個高歸屬度的結果。

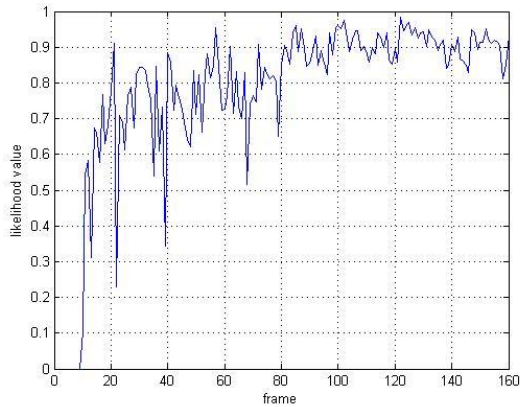


圖 12 室內(均勻照度下)歸屬值

同樣在另一個影像序列中，當遮蔽的情況發生時，如圖 13 所示。追蹤目標於第 169 個 frame 時出現於影像中，並於第 263 個 frame 時受到柱子的遮蔽，隨後在第 320 個 frame 時重新回到影像中，我們可以看到當目標受到遮蔽又重新回到影像中時，粒子可以很快地重新追蹤到我們要的目標。

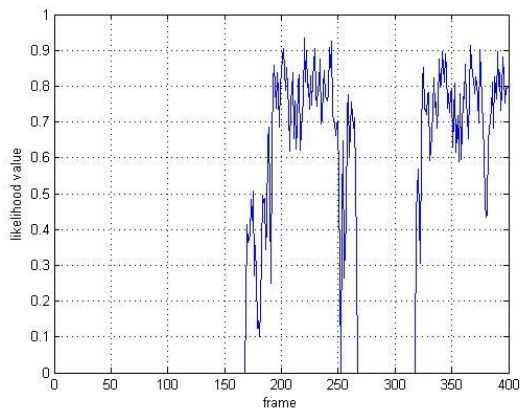


圖 13 室外(遮蔽情況下)歸屬值

而在照度變化劇烈的情況下，如圖 14 所示，雖然我們可以看到歸屬值有明顯的波動，但是大體而言都還是可以保持在一定的歸屬度以上，不至於失去我們的追蹤目標。

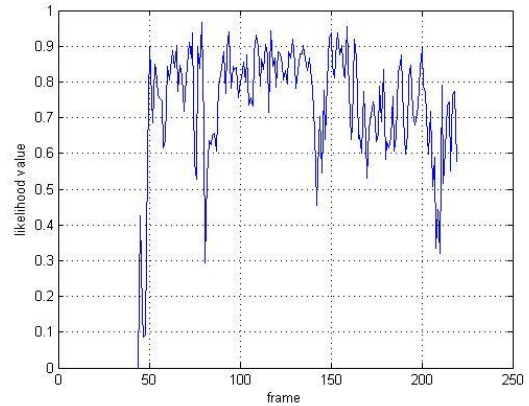


圖 14 室外(照度變化下)歸屬值

5. 結論

在影像追蹤的過程，很多像是背景、光源等外在的因素常常會讓場景發生異動，導致系統的誤判，進而影響其追蹤結果。我們在實驗結果中模擬出各種可能會發生干擾的情況，如背景異動、陰影干擾、遮蔽情況及照度變化等等。綜合以上的實驗結果可以得知，本文所提出的影像處理技術可以避免大多數在追蹤過程中可能發生的干擾。

本文利用色彩空間調變以及結合粒子濾波器來解決影像追蹤過程中所遭遇的問題，以達到準確追蹤的目的，使我們的影像追蹤系統變得更為健全、更為完善。

誌謝

本研究由國科會 NSC 101-2221-E-018-031-的研究經費補助。

參考文獻

- [1] Jong Sun Kim, Dong Hae Yeom, and Young Hoon Joo, "Fast and Robust Algorithm of Tracking Multiple Moving Objects for Intelligent Video Surveillance Systems," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 57, No. 5, August 2011.
- [2] Yen-Lin Chen, Bing-Fei Wu, Hao-Yu Huang, and Chung-Jui Fan, "A Real-Time Vision System for Nighttime Vehicle Detection and Traffic Surveillance," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 5, May 2011.
- [3] 李培華, *序列圖像中運動目標跟蹤方法*, 科學出版社, 2010。
- [4] Zsolt L. Husz, Andrew M. Wallace, and Patrick R. Green, "Tracking With a

- Hierarchical Partitioned Particle Filter and Movement Modelling,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics*, Vol. 41, No. 6, December 2011.
- [5] Vinu Thomas and Ajoy Kumar Ray, “Fuzzy Particle Filter for Video Surveillance,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 19, No. 5, October 2011.
- [6] Li Xu, Jiaya Jia, and Yasuyuki Matsushita, “Motion Detail Preserving Optical Flow Estimation,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 34, No. 9, September 2012.
- [7] Xiaojing Song, Lakmal D. Seneviratne, and Kaspar Althoefer, “A Kalman Filter-Integrated Optical Flow Method for Velocity Sensing of Mobile Robots,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 16, No. 3, June 2011.
- [8] Wonjun Kim, and Changick Kim, “Background Subtraction for Dynamic Texture Scenes Using Fuzzy Color Histograms,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 19, No. 3, March 2012.
- [9] Bohyung Han, and Larry S. Davis, “Density-Based Multifeature Background Subtraction with Support Vector Machine,” *IEEE Transactions on Pattern analysis and Machine Intelligence*, Vol. 34, No. 5, May 2012.
- [10] Rouhollah Dianat and Shohreh Kasaei, “Change Detection in Optical Remote Sensing Images Using Difference-Based Methods and Spatial Information,” *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 7, No. 1, January 2010.
- [11] Sungmok Lee, Homin Kwon, Hgyong Han, Gidong Lee, and Bongsoon Kang, “A Space-Variant Luminance Map based Color Image Enhancement,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 56, No. 4, November 2010.
- [12] Inhye Yoon, Seonyung Kim, Donggyun Kim, Monson H. Hayes, Fellow, and Joonki Paik, “Adaptive Defogging with Color Correction in the HSV Color Space for Consumer Surveillance System,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 58, No. 1, February 2012.