

國立交通大學

資訊科學與工程研究所

碩士論文



夜間近紅外線影像之人物偵測

Human Detection in Nighttime Near-InfraRed Video

研究生：洪邦展

指導教授：莊仁輝 教授

中華民國九十八年六月

Human Detection in nighttime Near-InfraRed Video

研究生：洪邦展

Student：Pang-Chan Hung

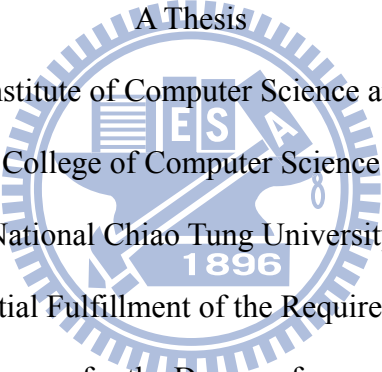
指導教授：莊仁輝

Advisor：Jen-Hui Chuang

國立交通大學

資訊科學與工程研究所

碩士論文

The logo of National Chiao Tung University is a circular seal with a gear-like border. Inside the seal, there is a stylized figure holding a torch, with the letters 'ES' and 'A' on either side. The year '1896' is at the bottom of the seal.

A Thesis
Submitted to Institute of Computer Science and Engineering
College of Computer Science
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in
Computer Science

June 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

夜間近紅外線影像之人物偵測

研究生：洪邦展

指導教授：莊仁輝 教授

國立交通大學

資訊科學與工程研究所

摘要

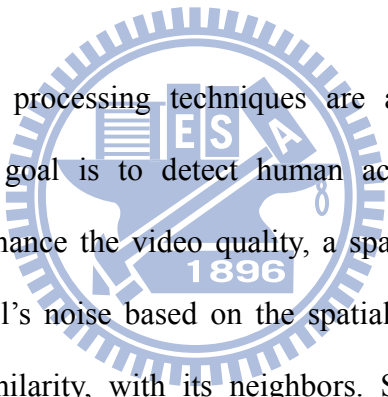
在本篇論文中，我們針對夜間近紅外線影像作處理，期望能夠強化近紅外線影像之視訊品質，並對前景人物作偵測。我們使用時空域雙向濾波器為基礎，依據時間、空間鄰近像素點之關係進行各個像素點之雜訊濾除，此關係包括距離及相似度。接著，我們使用高斯混合模型進行人物偵測，並對夜間感應式照明設施環境及其導致的光影現象進行額外的處理。在此我們提出雙模式高斯混合模型，即分開建構開、關燈環境之背景高斯模式，並藉由感應式照明設施的開、關燈切換之事件偵測進行背景高斯模式的切換。由於開燈環境下通常會強化影子效應，我們藉由掃描線搜尋法搜尋人物的立足點並利用此資訊濾除人物之影子。因此本論文所提出的方法，能夠提供偵測前景人物所得之外接矩形資訊，將有助於應用近紅外線影像之夜間監控系統。

Human Detection in Nighttime Near-InfraRed Video

Student : Pang-Chan Hung Advisor : Dr. Jen-Hui Chuang

Institute of Computer Science and Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT



In this thesis, image processing techniques are applied to the analysis of near-infrared videos. The goal is to detect human activities in the videos. We implement a method to enhance the video quality, a spatial-temporal bilateral filter which filters out each pixel's noise based on the spatial and temporal relationship, including distance and similarity, with its neighbors. Subsequently, the Gaussian mixture model (GMM) is used to construct background model and to perform foreground detection. Additionally, we pay attention to sensing lighting equipments used in nighttime environment because of its illumination and shadowing phenomena. Accordingly, a two-mode GMM is proposed which separately constructs background GMM for different lighting conditions and switches GMM modes by event detection. In order to cope with excessive shadowing phenomenon, an efficient way of searching footholds by using scan-lines is proposed to remove human shadows. The proposed approach will provide bounding boxes information of human regions as detection results which will be very helpful for a nighttime surveillance system based on near-infrared videos.

致謝

首先我必須誠摯的感謝指導教授莊仁輝博士，老師在電腦視覺領域淵博的學問並悉心指導，在我研究的路上不斷給予我建議，讓我得以完成這篇論文，老師嚴謹的研究態度也是我效法的典範。感謝三位口試委員王才沛教授、徐繼聖教授以及賴飛熊教授對本論文寶貴的建議，能夠讓本論文更加充實完整。

感謝實驗室博士班泓宏學長及國華學長，在研究所兩年來提供我許多建議及指導，讓我在實驗的過程能夠更加順遂。感謝同儕們宣良、世旻、永昌、尚一、聖中及維辰，雖然你們都不喜歡陪我去我最喜歡的燒烤跟 KTV，不過在我研究所生涯中，與你們共同修課、討論、拍片、互嗆以及打電動玩樂等一點一滴都是我永遠無法忘記的回憶。感謝實驗室諾白、寧玄、中尉、俊宏及證中學長們，還有育璋、芝穎、東諺、星陸、涵恩學弟妹們，我的研究所生涯也因為有你們而更加多采多姿。感謝我學生生涯的室友們，振達、新祐、蒼明、律友、鴻祥，多虧你們能忍受我在寢室引吭高歌、與一般人異常的生活作息，跟你們生活真的相當快樂！也要感謝這六年來，陪我踢球的所有夥伴，我們共同獲得的獎盃都使我的交大生活錦上添花，大家一起在球場上奔馳真是太熱血了！

我必須感謝我親愛的父母親，25 年來供應我衣食無缺的生活，並提供我一個溫暖的避風港。在長達六年的新竹生活中，每當我一回到台北，見到你們都可以讓我卸下心中所有的煩惱，現在是輪到我將責任扛起來的時候了。感謝我的哥哥，讓我回家裡休息時，總是有新的海賊王、浪人劍客……等可以看，還可以陪我無雙廝殺到半夜。雖然咱們兄弟倆走的是完全不同的道路，但我以有一個法律專家的哥哥為榮，以後要告人就靠你了。還要感謝爺爺、奶奶、家中所有長輩們及所有堂表兄弟姐妹們，每週的家族聚會大家喝茶聊天吃點心是我最放鬆的時光，我愛你們所有人。最後，我要由衷的感謝交大創校以來最正的司儀珮婷，在我長達六年的離鄉求學時間裡，妳讓我感受到有如家人般的溫暖，溫柔的笑容總能融化我內心的孤單與寂寞。每當我心煩意亂時，妳總成為我傾訴的對象，在我旁邊默默的支持我，謝謝妳。

感謝所有一路走來陪伴我的人，沒有你們，就沒有今天的我，更不會有這篇論文的完成，謝謝！

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
致謝.....	III
目錄.....	IV
圖表目錄.....	VI
第一章 緒論.....	1
1.1 動機與背景.....	1
1.2 近紅外線攝影機之影像品質問題.....	2
1.3 相關研究.....	4
1.3.1 雜訊濾除之相關研究.....	4
1.3.2 人物偵測之相關研究.....	6
1.4 論文流程及架構.....	7
第二章 利用雙向濾波器之雜訊濾除.....	11
2.1 雙向濾波器之特性.....	11
2.1.1 雙向濾波器之基本架構.....	11
2.1.2 雙向濾波器之距離特性.....	13
2.1.3 雙向濾波器之灰階值差異特性.....	15
2.1.4 綜合距離特性與灰階值差異特性之探討.....	16
2.2 利用空間及時間域雙向濾波器之雜訊濾除.....	17
2.2.1 空間域雙向濾波器.....	17
2.2.2 時間域雙向濾波器.....	19
2.3 利用時空域雙向濾波器濾除近紅外線影像之雜訊.....	21
2.3.1 時空域雙向濾波器之架構.....	22
2.3.2 利用時空域雙向濾波器之前、背景判斷.....	23
2.3.3 應用時空域雙向濾波器之效果.....	23
第三章 基於高斯混合模型之人物偵測.....	25
3.1 高斯混合模型之基本型態.....	25
3.1.1 高斯混合模型之初始化.....	25
3.1.2 高斯混合模型之背景偵測機制.....	26
3.1.3 高斯混合模型之新高斯建立方式.....	27
3.1.4 高斯混合模型之參數更新及權重值正規化.....	27
3.2 利用高斯混合模型進行夜間近紅外線影像之前景偵測.....	28
3.2.1 前景偵測結果.....	29
3.2.2 微小雜訊點之濾除.....	30
3.3 運用雙模式高斯混合模型於夜間感應式照明環境之人物偵測.....	32

3.3.1	調整高斯混合模型之參數以用於感應式照明設施環境.....	33
3.3.2	雙模式高斯混合模型與開關照明設施之事件偵測.....	36
3.3.3	開燈模式之人影濾除.....	41
第四章	實驗結果與討論.....	50
4.1	以雙向濾波器進行雜訊濾除之實驗結果.....	50
4.2	以高斯混合模型進行人物偵測之實驗結果.....	52
第五章	結論與未來工作.....	56
附錄一	雙向濾波器之參數探討.....	58
參考文獻	63



圖表目錄

圖 1.1	近紅外線影像光源分布不均勻	4
圖 1.2	夜間近紅外線影像之影像強化及人物偵測流程圖	8
圖 1.3	近紅外線影像之亮度分佈調整結果	9
圖 2.1	高斯分佈：藍線 ($a=-6$ 、 $\sigma=1$)；綠線 ($a=0$ 、 $\sigma=0.5$)；紅線 ($a=2$ 、 $\sigma=4$)	12
圖 2.2	影像中之 5×5 空間鄰近點之權重關係	14
圖 2.3	連續影像中同一像素點之時間距離關係圖	15
圖 2.4	時間距離與權重關係圖	15
圖 2.5	空間鄰近區域之灰階值差異特性	16
圖 2.6	平均濾波器與空間域雙向濾波器 ($\sigma_D=0.8$ 、 $\sigma_I=1$) 處理結果	18
圖 2.7	空間域雙向濾波器之邊緣均化效應	19
圖 2.8	時間域雙向濾波器 ($ N_x =21$ 、 $\sigma_D=2.0$ 、 $\sigma_I=5$) 處理結果與原始影像之比較	20
圖 2.9	時空域雙向濾波器之結果	24
圖 3.1	高斯混合模型進行前景物體偵測之結果	29
圖 3.2	利用雙向濾波器以及影像型態學濾除微小雜訊點之結果	31
圖 3.3	感應式照明設施環境	33
圖 3.4	使用高斯混合模型進行感應式照明環境之物體偵測	34
圖 3.5	調整學習速度參數之高斯混合模型進行感應式照明環境之物體偵測	35
圖 3.6	調變式學習速度進行初始化開燈模式之高斯混合模型	39
圖 3.7	忽略光源漸進變化過程進行初始化開燈模式之高斯混合模型	41
圖 3.8	人影造成高斯混合模型偵測之困難	42
圖 3.9	利用掃描線偵測立足點位置 (紅色虛線為 45° 之掃描線，綠色實線為掃描線執行掃描的順序，藍色圓點表示利用此掃描線獲得之立足點)	44
圖 3.10	利用掃描線偵測前腳腳背位置 (紅色虛線為 45° 之掃描線，綠色實線為掃描線執行掃描的順序，藍色圓點表示利用此掃描線獲得之前腳腳背)	45
圖 3.11	利用掃描線尋找前、後腳位置，此時前腳為右腳 (綠點：後腳腳跟、藍點：前腳腳背、紅線：人類外接矩形之底邊界)	46
圖 3.12	利用掃描線尋找前、後腳位置，此時前腳為左腳 (綠點：後腳腳跟、藍點：前腳腳背、紅線：人類外接矩形之底邊界)	46
圖 3.13	利用掃描線搜尋前、後腳偵測失敗的例子	47
圖 3.14	利用掃描線方式重新定義前景區域之結果	48
圖 4.1	藉由控制近紅外線攝影機之發光二極體數量取得高對比之臉部特徵影	

	像.....	51
圖 4.2	高斯混合模型用於夜間室內環境亮度穩定之場景之前景偵測.....	52
圖 4.3	高斯混合模型用於夜間室內環境亮度穩定之場景之複數前景偵測.....	53
圖 4.4	高斯混合模型用於夜間室內、外交接口環境之場景之複數前景偵測.....	53
圖 4.5	高斯混合模型用於夜間室外場景之前景偵測.....	54
圖 4.6	雙模式高斯混合模型用於感應式照明環境之前景偵測.....	55
圖 A	蕾娜測試影像.....	58
圖 B	空間域雙向濾波器之 $ N_x $ 參數測試 ($\sigma_D = 10$ 、 $\sigma_I = 10$).....	59
圖 C	空間域雙向濾波器之 σ_D 參數測試 ($ N_x =25$ 、 $\sigma_I = 10$).....	60
圖 D	空間域雙向濾波器之 σ_I 參數測試 ($ N_x =25$ 、 $\sigma_D = 10$).....	61
圖 E	時間域雙向濾波器之殘影現象.....	62
表 1	不同近紅外光強度的近紅外線影像之對比度比較表.....	51



第一章 緒論

1.1 動機與背景

近年來安全監控的議題愈來愈受社會重視，學界及業界也積極投入此領域之研究。安全監控中許多議題在生活中均有相當實際的應用，這些議題包括：物件偵測、行人偵測、撿放物件行為偵測、入侵偵測、煙霧（火災）偵測、軌跡追蹤、人臉辨識、特異行為辨識、車牌辨識等。

上述各議題皆有各種演算法能實現，但多數演算法皆以分析日間一般可見光影像為主，極少針對夜間影像設計演算法進行處理。而夜間環境由於光源不足，使用一般攝影機拍攝的監控影像常有畫面昏暗、特徵不清晰等現象，導致大部分演算法的實行效能大幅降低。考量安全監控之現實狀況，深夜之犯罪率明顯較白天高，犯罪者常挑選夜深人靜時犯罪，因此相較於日間監控，夜間監控的重要性有過之而無不及。

由於使用一般日間功能攝影機無法清楚地拍攝夜間監控畫面，在實際夜間監控的價值大為下降。為了拍攝清晰的夜間影像，近紅外線（Near-InfraRed, NIR）電荷耦合元件（charge coupled device, CCD）攝影機常被用以取代一般攝影機。近紅外線攝影機與一般攝影機不同，一為攝影機的鏡頭周圍額外附有多個發光二極體（light-emitting diode, LED），當環境光源不足時即會自動開啟照射近紅外光；二是攝影機能透過紅外線濾光片感應反射回來的紅外光。由於近紅外光波長約為 750nm 至 2000nm，並不在人類視覺可視察的可見光範圍內，因此近紅外線攝影機的照明不會干擾環境的明亮度。基於此特性，紅外線攝影機已被廣泛的應用於夜間安全監控。

一般來說，使用近紅外線攝影機進行夜間監控並不需要額外照射可見光以提升環境亮度，但多數公共場所之重要監控位置皆額外設置感應式照明設施。當移動物體接近該重要位置（如建築物大門口）時，攝影機附近會有照明設施打光以

提升環境整體之亮度；反之，當移動物離開偵測範圍，該照明設施將會自動關閉以節省能源。此種依據感應移動物體接近、離開而自動開啟、關閉的照明設施於本文內皆稱為感應式照明設施，該設施除了可以提供較明亮安全的通行環境外，亦能對入侵者有警示的作用。因此，近紅外線攝影機除了其本身主動式照射之近紅外光外，監控環境中若有感應式照明設施亦會影響其拍攝的畫面。本論文依據感應式照明設施存在與否考慮了兩種夜間監控之情形，並對此兩種情形進行人物偵測之分析。

由於各種影像處理的演算法常常會因影像品質不佳而影響其偵測結果，而我們需要進行人物偵測演算法亦是如此，為了達到較理想的偵測結果，我們需要輸入品質良好的近紅外線影像。我們將於下一小節介紹近紅外線影像有影像光線分布不均、高雜訊、對比度不佳、色彩資訊不足等因素，造成該影像品質不佳，進而降低後續前背景分離、物體偵測、事件偵測等智慧化分析的結果。因此，本論文除了人物偵測之目的外，亦設法改善近紅外線影像的品質。

1.2 近紅外線攝影機之影像品質問題

由於監控系統必須日以繼夜不間斷地錄製監控影像，且系統通常會有多路攝影機同步錄製，造成資訊量大幅增加。因此，監控系統最常見的問題為硬體儲存容量以及傳輸頻寬的不足。為了改善此問題，多數監控系統皆會選擇降低視訊畫面品質以符合儲存容量及傳輸頻寬之需求。不論一般可見光攝影機還是近紅外線攝影機，其系統錄製的視訊品質皆會受此影響。

影像錄製的每單位時間資訊量與硬體容量、傳輸頻寬此兩問題息息相關。若錄製的影像其每單位時間資訊量較少，則在錄製同樣時間的情況下，不但能夠節省儲存空間，也能在有限傳輸頻寬下傳輸更多筆同步錄製的資訊，該系統之傳輸頻寬可承受同步錄製的攝影機亦越多台。因此，多數監控系統會採用下列方式降低影像錄製的每單位時間資訊量：

- (i) 低解析度 (resolution) 畫質影像：相較於高解析度影像，降低解析度即直接減少每張影像的資訊量。若高解析度影像為 $M \times N$ ，低解析度影像為 $m \times n$ ，又 $M > m$ 且 $N > n$ ，則選擇低解析度影像其資訊量為高解析度影像的 mn/MN 倍。
- (ii) 提高壓縮率 (compression rate)：壓縮率定義為壓縮前之資訊量與壓縮後之資訊量的比率。影像錄製每單位時間原始影像的資訊量固定，若經過壓縮處理後剩餘的資訊量越少，則其壓縮率越高。因此提高壓縮率雖然會使錄製影像失真幅度增加，卻能有效減少每單位時間的資訊量。
- (iii) 降低錄製頻率：醫學已經證明人類具有視覺暫留之特性，即人眼看到一個物體後，在 1/24 秒內不會消失。因此，一般視訊影像或動畫只需在每秒鐘播放 24 張畫面，人類將視此變化過程流暢且連續。攝影機依此特性多採用兩種不同制度擷取影像：一為 PAL (phase alternate line) 制，每秒擷取 25 張畫面；二為 NTSC 制 (national television system committee)，每秒擷取約 30 張畫面。然而，多數監控系統考量成本問題，通常會犧牲影片流暢度而將攝影機拍攝得的畫面作進一步的減少取樣。

近紅外線攝影機錄製之品質除了受前述因素影響，其本身亦存在一般可見光攝影機所沒有的問題。由於近紅外線攝影機拍攝場景多以夜間環境為主，在先天環境光源不足之限制下，只能靠接收紅外光錄製影像。又因紅外光的波長與可見光波長不同，使用彩色攝影機對此環境的靈敏度低，因此多使用灰階成像攝影機搭配濾光片，造成影像色彩資訊不足。此外，CCD 元件可感應的光源波長範圍與人類視覺系統不同，利用此原理即能將其感測到的光轉換成電荷訊號加以處理成影像。CCD 於夜間環境下必須耗費更大之電能才能提升感光之敏感度，比較高的電壓所產生的熱能會讓電子器材穩定性降低，進而造成影像之雜訊提高。因此，使用 CCD 元件近紅外線影像的雜訊通常較可見光彩色影像為高。

近紅外線攝影機之主動式近紅外光照明會明顯地集中於其拍攝畫面的中央

區域，並以輻射方式向外圍遞減造成，如此將造成影像中光源分布不均勻。如圖 1.1 (a)中之背景物體樹幹，其紅色矩形部分位於畫面中央，而藍色矩形部分位於畫面邊緣，其亮度分布不均勻。因此，若有物體從畫面一端經過中央區域至另一端，成像時物體的亮度會因為在畫面不同區域而有所不同。圖 1.1 (a)中的綠色矩形部分為一前景物體，同前景物體於圖 1.1 (b)由於位於畫面中心，其接收及反射的紅外光皆較多，因此其亮度亦較亮。近紅外線影像此特性將會降低以灰階值為分析基礎的智慧型系統之效能，並對安全監控造成不利之影響。綜合上述各項因素，近紅外線攝影機之夜間影像有許多仍待改善之處。



(a) 綠色矩形前景物體位於畫面邊緣

(b) 綠色矩形前景物體位於畫面中央

圖 1.1 近紅外線影像光源分布不均勻

1.3 相關研究

本文的重點為雜訊濾除及人物偵測，目前學界已有不少此兩類的研究，但多數研究皆針對一般可見光彩色影像設計，只有少數的文獻探討近紅外線影像，本節將介紹一些空間域之雜訊濾除之研究及幾種目前最常被使用的人物偵測法。

1.3.1 雜訊濾除之相關研究

濾除雜訊之方法可分為空間域及頻率域兩大類，文獻[1]介紹幾種基本的濾除雜訊之濾波器，如空間域濾波器有平均濾波器 (mean filter)、中間值濾波器

(median filter) 及高斯平滑濾波器 (Gaussian smoothing filter) 等，此類分別以每個像素點為中心之空間區域作加權平均計算的濾波器泛稱鄰近點濾波器 (neighborhood filter)；而頻率域濾波器有理想低通濾波器 (ideal lowpass filter)、巴特沃斯低通濾波器 (Butterworth lowpass filter) 及高斯低通濾波器 (Gaussian lowpass filter) 等方式。其中，高斯平滑濾波器是取空間中各個像素點的灰階值，並依其個別與中心點的距離作加權平均運算，此方式雖能平滑化空間中特異的雜訊點，但是在灰階值有變化之邊緣部分或物體表面的材質皆會產生模糊效應。本小節將介紹另外一些空間域濾波器，並探討其特性。

文獻[2]提出的非等向濾波器 (anisotropic filter, AF) 為另一種空間域濾波器，此濾波器主要針對此模糊效應作改善。該濾波器處理每一個像素點時先計算其梯度 (gradient)，梯度為影像灰階值變化的趨勢，若該點位於邊緣，則其梯度可代表此邊之法向量，接著以該點為中心依其梯度值垂直的兩個方向使用高斯濾波器作加權平均。因此，經過非等向濾波器濾除雜訊後，影像中邊緣為直線的部分其模糊效應會略微降低，但是邊緣曲率越大的部分其模糊效應不會獲得改善。

文獻[3]提出的變異數總和最小化 (total variation minimization) 是一種數值分析方法，此方法藉由最佳化有限制的目標式達成雜訊濾除之目的。此方法的目標為最小化影像中每一個像素點其梯度值之總和，並存在兩個限制條件：一為雜訊濾除前、後影像的灰階值總和相同，此假設隱含著雜訊是以零為平均之白雜訊 (white noise) 分佈；二為白雜訊的變異數固定。最後再利用拉格朗日乘數法 (Lagrange multiplier method) 求解目標式。此方式能夠保留小曲率的弧線使其不受模糊效應的影響，但若拉格朗日乘數設定不適合，會造成影像過度地平滑化。

文獻[4]之雙向濾波器 (bilateral filter) 為一種鄰近點濾波器，由高斯平滑濾波器變化而成。此濾波器濾除每一個像素點之雜訊時，依據區域中各點的兩種特性作加權平均計算：一為該點與中心點之距離，距離越大會導致權重越小；二為該點與中心點的灰階值差異，差異越大會導致權重越小。由於需考慮兩種特性作

為加權計算的依據，因此稱此濾波器為『雙向』濾波器。以區域間各個像素點與中心點之灰階值差異作為權重分配依據有一個缺點，即當中心點為雜訊時，會使其餘像素點的權重分配失真。本研究即以此濾波器做為雜訊濾除之基礎，並針對中心點為雜訊點的問題加以改善。

文獻[5]提出非局部平均濾波器 (non-local means filter) 亦為一種鄰近點濾波器。前段描述之雙向濾波器濾除一個像素點之雜訊時，使用該點鄰近區域內每一個像素點與該點的距離及灰階值差異作加權平均的計算。非局部平均濾波器與雙向濾波器相似，亦是以距離及灰階值差異兩種特性作為加權平均的依據，但非局部濾波器濾除一個像素點之雜訊時，必須以該像素點之鄰近區域與影像中所有像素點之鄰近區域為考量，並對兩鄰近區域間之距離及區域總灰階值差異作加權平均的計算。此方式由於以區域為單位作比較，而雙向濾波器以像素點為單位作比較，因此能改善單一雜訊點所造成權重分配失真的問題，但是需耗費更大的運算量。



1.3.2 人物偵測之相關研究

既有的人物偵測方法主要分為兩種：第一種是以建立背景模型為基礎，並藉由前、背景分割將前景物體偵測出來；第二種則是以特徵或是偵測器為基礎，此類方法皆是以人物較明顯的特徵為偵測依據，例如膚色、人臉、人形等特徵。本小節將介紹一些人物偵測之方法，並分析其特性。

文獻[6]提出的高斯混合模型 (Gaussian mixture model, GMM) 是目前最常被使用的背景建模模型之一。高斯混合模型適用於背景相同之連續影像，該模型以空間中每一個像素點之色彩值為單位建立多個高斯分佈，並賦予每一個高斯分佈權重值，表示該高斯分佈為此連續影像背景的可能性。每當輸入新影像時，此模型會比對新影像的每一個像素點，判斷其色彩值是否屬於背景模型中任何一個高斯分佈。若該色彩值已存在於某一個背景高斯分佈，則判斷該像素點為背景；

反之，則判斷該像素點為前景。最後依照文獻中法則來更新背景模型之資訊，以達成即時偵測並學習之目的。高斯混合模型所適用的環境必須為穩定或漸進式變化之背景，如此該模型才能穩定實行。當環境為非固定式攝影機或瞬間變化之背景，高斯混合模型之學習速度將不足以應付此環境導致偵測結果不理想。

文獻[7]提出一個以偵測器為基礎之人物偵測方式，主要利用 Adaboost 演算法訓練人類頭肩部、軀幹、下肢之分類器，再以此訓練出的偵測器進行辨識。由於此論文之偵測器以小段邊緣為基礎，輸入影像皆須先以 Sobel 濾波器找尋影像之邊緣部分。訓練及辨識的過程中，以小段邊緣之灰階值以及方向性為依據判斷偵測器與樣本是否相似。此方式可容忍背景的變化，但必須先耗費大量功夫定義分類器及訓練偵測器。此外，若因前景人物的身體姿態或穿著型式等原因造成其輪廓與偵測器所定義的特徵不同，此方式之結果會不理想。

文獻[8]提出另一個以偵測器為基礎之夜間近紅外線影像之人物偵測方式。此文獻針對駕駛人輔助系統設計一個車輛專用之夜間行人偵測系統，利用支持向量機器（support vector machine, SVM）訓練正面及側面之人形偵測器，並搭配小波（wavelet）係數轉換對不同解析度的可能前景物作偵測。此種以偵測器為基礎的人物偵測方式，需靠大量蒐集樣本並訓練合適的偵測器，其偵測期間常常會因訓練樣本其多元性不足而造成實際案例偵測結果不理想。

1.4 論文流程及架構

本論文的目的是在於改善近紅外線影像雜訊過多以及亮度分布不均勻之問題，並期望透過強化影像來增進人物偵測之效能。圖 1.2 為本論文之應用流程圖，本節將介紹此流程圖中每個處理過程。我們預期從此流程中獲得兩種輸出結果：一為雜訊濾除後之強化影像；二為前景偵測後擁有前景物外接矩形之結果影像。

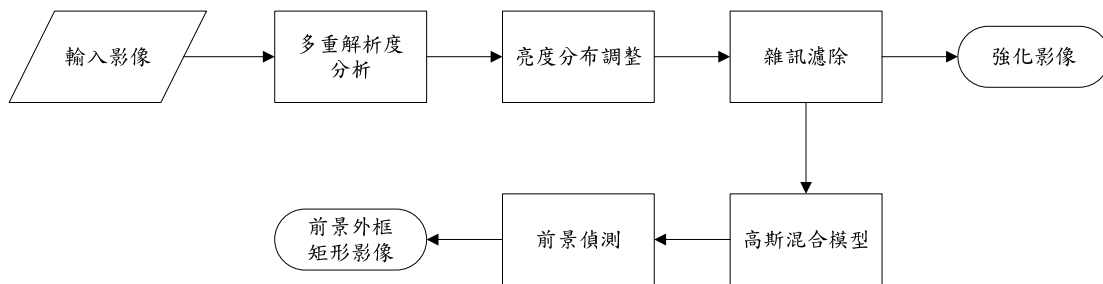


圖 1.2 夜間近紅外線影像之影像強化及人物偵測流程圖

多解析度分析

由於本論文使用之雜訊濾除方式需要整合連續多張影像資訊，造成龐大的運算量，因此降低影像解析度為一改善效率的方式。且多數監控系統由於需考量成本因素，系統會降低拍攝影像之解析度以減少硬體儲存空間以及傳輸時間（如 1.2 節所述）。基於上述原因，多解析度分析步驟主要為降低解析度，除了能提升系統效率，亦能契合實際監控系統所拍攝影像的解析度。

亮度分佈調整 (optional)

在夜間環境下，近紅外線攝影機照射之近紅外光無法均勻地分佈於拍攝環境，如此將導致近紅外線影像會呈現由中心至外圍亮度的輻射狀遞減分佈（如 1.2 節所述）。若近紅外線攝影機於日間場景下，其夜視功能將不啟動，因此其所拍攝得影像為一般日間影像。令 x 及 y 為影像之二維座標，我們利用已經存在的一張純背景日間灰階影像 $g(x,y)$ 及一張純背景夜間近紅外線影像 $f(x,y)$ ，對每一個位置之像素點取得其放大倍率 $\lambda(x,y)=f(x,y)/g(x,y)$ ，之後即以此放大率對新進近紅外線影像進行影像補償。如圖 1.3(a) 為一場景之純背景近紅外線影像 $f(x,y)$ ，圖 1.3(b) 為同場景之純背景一般灰階影像 $g(x,y)$ ，藉由此亮度補償調整法，我們可以將圖 1.3(c)(e) 之有前景之近紅外線影像調整為圖 1.3(d)(f) 之結果。



(a) 純背景之近紅外線影像 $f(x,y)$



(b) 純背景之一般灰階影像 $g(x,y)$



(c) 有前景之近紅外線影像 $f_1(x,y)$



(d) (c) 之調整結果 $g_1(x,y) = f_1(x,y) / \lambda(x,y)$



(e) 有前景之近紅外線影像 $f_2(x,y)$



(f) (e) 之調整結果 $g_2(x,y) = f_2(x,y) / \lambda(x,y)$

圖 1.3 近紅外線影像之亮度分佈調整結果

雜訊濾除

本步驟將於第二章作詳細地介紹，其目的為藉由雙向濾波器濾除影像雜訊，以期能獲得雜訊較少、畫面較穩定之連續影像。以一般室內監控影像而言，由於行人所能經過的路徑有限，且行人出現於畫面的面積比例及頻率變化亦有限，因此畫面中某些像素點為前景之機率很低。在此情況下，由於該像素點之背景穩定且不受前景干擾，因此可以使用時間域雙向濾波器以減少受雜訊破壞之影響。

反之，若該像素點為前景，則單純使用時間域雙向濾波器將造成殘影現象，因此必須額外藉由空間域雙向濾波器之概念濾除雜訊。

高斯混合模型

由於本論文的目的有兩個：一為希望透過影像強化及雜訊濾除以獲得品質較佳之近紅外線影像，以增加後續智慧型分析處理的正確性；二為近紅外線影像之人物偵測。因此，高斯混合模型除了可評斷雜訊濾除方法之優劣，還可以直接應用於人物之偵測。

本步驟之高斯混合模型將於第三章中作詳細地描述，此模型是目前最常被用到的前背景分割模型之一，其特色為在經過一段時間的學習下，該模型能將一個像素點所有出現的可能背景建立出來。假設場景中有搖晃之樹，在某像素為原先背景（地板或牆壁）之顏色的機率為 0.4，為樹葉之顏色的機率為 0.3，為樹枝之顏色的機率為 0.2，高斯混合模型能將這三種可能顏色皆視為背景。

前景偵測

前一步驟之高斯混合模型在連續影像中每個像素點建立多個（一般為三至五個）高斯機率分佈，而這些分佈各有其權重，代表該像素在影片中可能的背景顏色。本步驟之前景偵測係以前述高斯混合模型所建構出的背景模型為基礎，判斷新進影像是否符合該背景模型，以找出非背景之區域。

第二章 利用雙向濾波器之雜訊濾除

文獻[4]所提出的雙向濾波器為一濾除雜訊的方法，可用於時間及空間兩種座標系統。當要濾除一個像素點之雜訊時，主要考慮該點與所有鄰近點之距離及灰階值差異兩項特性作加權平均的計算。本章將先介紹雙向濾波器之距離與灰階值差異兩項特性，接著探討空間及時間域雙向濾波器及其執行結果，最後討論此濾波器之缺點並設法改進並套用於本系統。

2.1 雙向濾波器之特性

雙向濾波器濾除像素點之雜訊係參考該像素點與其鄰近區域內所有像素點之兩項特性分配權重並作加權平均的計算，此兩項特性分別為距離特性及灰階值差異特性，此濾波器即因考慮該兩項特性而被稱之為『雙向』濾波器。本節先提出雙向濾波器的基本架構，之後再針對此兩項特性分別做詳細地介紹。

2.1.1 雙向濾波器之基本架構

本小節首先介紹雙向濾波器之基本架構，雙向濾波器由距離與灰階值差異兩項特性組成，我們將於下面兩小節分別介紹此兩項特性。以空間域雙向濾波器為例，此濾波器對影像中任意像素點 \mathbf{x} 之處理為計算

$$B(\mathbf{x}, \sigma_D, \sigma_I) = \frac{\sum_{\mathbf{y} \in N_{\mathbf{x}}} g_1(\|\mathbf{y} - \mathbf{x}\|, \sigma_D) g_2(|I(\mathbf{y}) - I(\mathbf{x})|, \sigma_I) I(\mathbf{y})}{\sum_{\mathbf{y} \in N_{\mathbf{x}}} g_1(\|\mathbf{y} - \mathbf{x}\|, \sigma_D) g_2(|I(\mathbf{y}) - I(\mathbf{x})|, \sigma_I)} \quad (2.1)$$

其中， σ_D 為距離特性之高斯分佈函式的標準差， σ_I 為灰階值差異之高斯分佈函

式的標準差。 \mathbf{N}_x 是以 \mathbf{x} 為中心之鄰近區域像素點集合， \mathbf{y} 為 \mathbf{N}_x 內任一像素點。將每一個像素點其各自的距離特性權重值 $g_1(\|\mathbf{y}-\mathbf{x}\|, \sigma_D)$ 與灰階值差異特性權重值 $g_2(|I(\mathbf{y})-I(\mathbf{x})|, \sigma_I)$ 相乘即可獲得一個新的權重值，而分母的部分則是對雙向濾波器的權重作正規化，使其總和為1。兩種特性皆以高斯分佈函式（Gaussian distribution function）計算像素點的權重值

$$g(|b-a|, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{|b-a|^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2)$$

其中， a 為高斯分佈之平均數， b 為高斯分配之平移量，此數影響高斯分佈中機率最大值之位置。 σ 為高斯分配之變異數，此數影響高斯分佈中機率變化的速度， σ 越大則變化速度越慢。圖 2.1 為三個高斯分佈曲線，藍線為 $a=-6$ 、 $\sigma=1$ 的高斯分佈；紅線為 $a=2$ 、 $\sigma=4$ 的高斯分佈；綠線為 $a=0$ 、 $\sigma=0.5$ 的高斯分佈。 $|b-a|$ 為 a 與 b 之距離，此距離特性可用於時間域及空間域兩種系統。

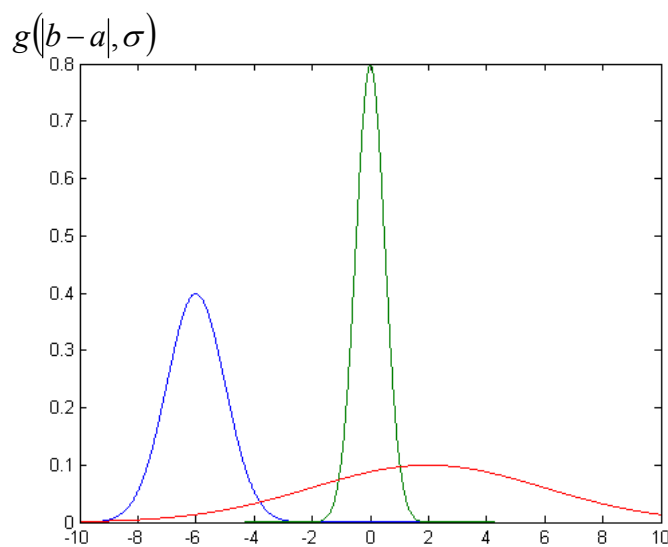


圖 2.1 高斯分佈：藍線（ $a=-6$ 、 $\sigma=1$ ）；綠線（ $a=0$ 、 $\sigma=0.5$ ）；紅線（ $a=2$ 、 $\sigma=4$ ）

2.1.2 雙向濾波器之距離特性

雙向濾波器之距離特性的概念來自於高斯平滑濾波器，高斯平滑濾波器係使用高斯分佈函式依鄰近區域內各個像素點與中心點的距離計算各點之權重，最後再作各鄰近點灰階值的加權平均。雙向濾波器的距離特性即以此觀念為基礎，以各像素點距離中心點的距離決定鄰近區域內各點之權重，另一方面，2.1.3 節將介紹以各像素點其灰階值差異決定鄰近區域內各點之權重，最終將各個像素點之兩個權重相乘即可得到雙向濾波器各個像素點的新權重值。

以空間域高斯平滑濾波器為例，該濾波器對任意像素點 \mathbf{x} 之處理為計算

$$G(\mathbf{x}, \sigma) = \frac{\sum_{\mathbf{y} \in N_x} g(\|\mathbf{y} - \mathbf{x}\|, \sigma) I(\mathbf{y})}{\sum_{\mathbf{y} \in N_x} g(\|\mathbf{y} - \mathbf{x}\|, \sigma)} \quad (2.2)$$

其中，使用高斯分佈函式計算以 \mathbf{x} 為中心點之鄰近區域 N_x 內每一個像素點之權重，最後依 N_x 內各個像素點之權重作灰階值的加權平均， \mathbf{y} 為 N_x 內之某一像素點，高斯平滑濾波器 $G(\mathbf{x}, \sigma)$ 處理像素點 \mathbf{x} 時，以各個鄰近點 \mathbf{y} 之灰階值 $I(\mathbf{y})$ 以加權平均的方式計算，並正規化使其權重值總合為 1。

由於本小節針對雙向濾波器之距離特性作探討，我們將使用空間域及時間域兩種雙向濾波器，且此兩種濾波器其距離特性亦不太相同。其中，空間域雙向濾波器之距離顧名思義就是以空間距離為主，因此我們使用尤拉距離計算兩個像素點之空間距離；時間域雙向濾波器之距離則是以時間距離為主，因此我們使用兩個像素點所在之時間點差異計算該兩點之時間距離。

空間域雙向濾波器之距離特性

以空間域之距離為例，圖 2.2(a) 是影像中一個以 \mathbf{x} 為中心點之 5×5 空間鄰近點，圖 2.2(b) 則為此空間鄰近點之正規化 (normalization) 後的權重值，其中其

高斯分佈函式之變異數為 1。當像素點離中心點越近，其權重越大，即表越具有參考價值。空間高斯平滑濾波器即依此權重分配作灰階值的加權平均計算。

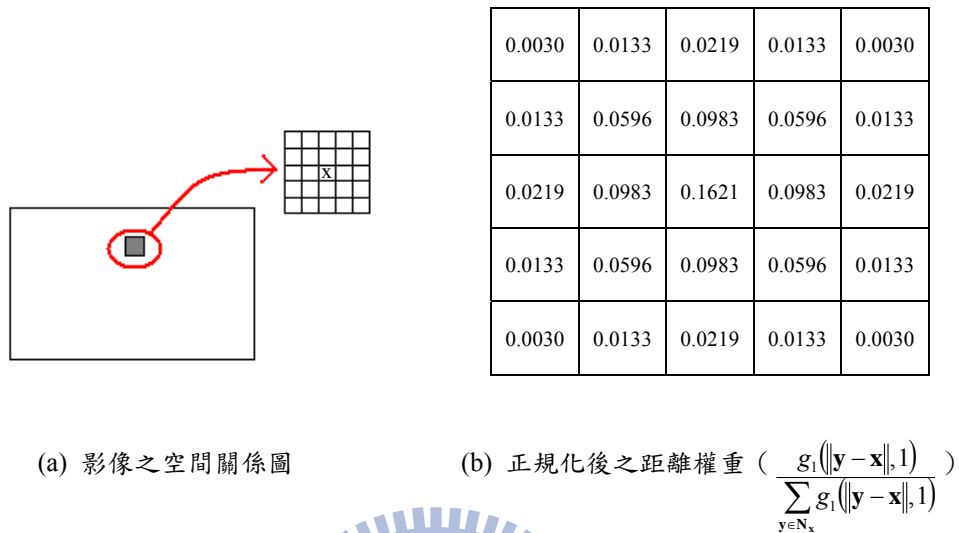


圖 2.2 影像中之 5x5 空間鄰近點之權重關係

時間域雙向濾波器之距離特性

以時間域之距離為例，圖 2.3 是連續影像中同一像素點之時間距離關係，以時間點 t 為中心，計算其所有時間鄰近時間 $t+t_0$ 中相同空間座標之像素點 \mathbf{y}_{t+t_0} 的權重值，其中 $-\tau \leq t_0 \leq \tau$ ， τ 為一自訂之鄰近區域大小。圖 2.4 是以 $\sigma=1$ 為例之權重 $g(t_0, 1)$ 與 t_0 之關係圖，當時間 t_0 離中心點越遠，其權重越小。如此代表距離中心越近的像素點，越具有參考價值，因此其權重越大。

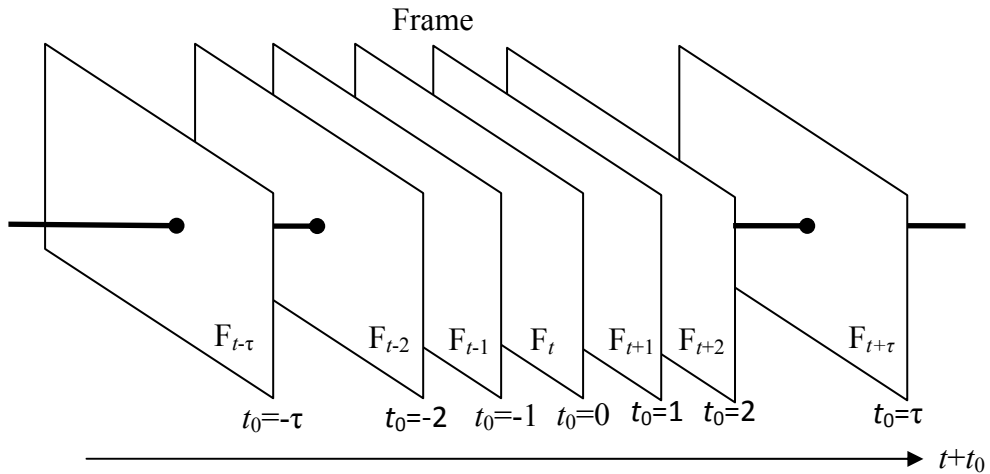


圖 2.3 連續影像中同一像素點之時間距離關係圖

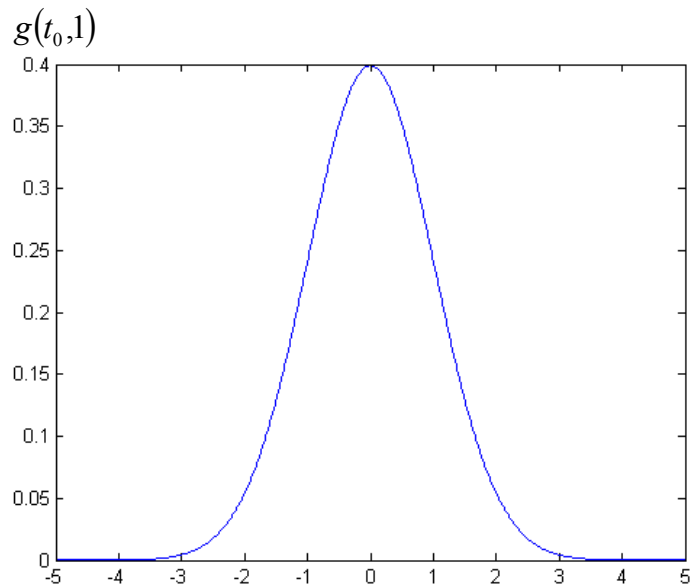


圖 2.4 時間距離與權重關係圖

2.1.3 雙向濾波器之灰階值差異特性

本論文研究之近紅外線影像以灰階影像為主，若本部分灰階值差異特性用於彩色影像即為紅、綠、藍各色彩值差異特性。灰階值差異特性相似於距離特性，此特性係利用以 \mathbf{x} 為中心點之鄰近區域 $N_{\mathbf{x}}$ 內各個像素點與 \mathbf{x} 之灰階值相似度給予權重值。 \mathbf{y} 為 $N_{\mathbf{x}}$ 內之某一像素點，其與 \mathbf{x} 之相似度為此兩個像素點之灰階值差距。如果此差距值越小，表示兩個像素點相似度越大，因此加權計算之權重較

大；反之，若差距值越大，則相似度越小，因此加權計算之權重較小。灰階值差異特性使用以零為平均數之高斯分配函式計算其灰階值相似度之權重值。圖 2.5(a)為影像中空間鄰近區域之灰階值，為一約 135° 之斜線，圖 2.5(b)為此區域各點之灰階值差異權重，因原影像中心點（圖 2.5(a)之紅底像素點）之灰階值為 255，且區域內像素點之灰階值只有 255 及 0 兩種，又因 0 與 255 的灰階值差異過大造成灰階值為 0 之像素點的權重極小趨近於 0，所以最終權重將平均分配給灰階值為 255 的 16 個像素點。

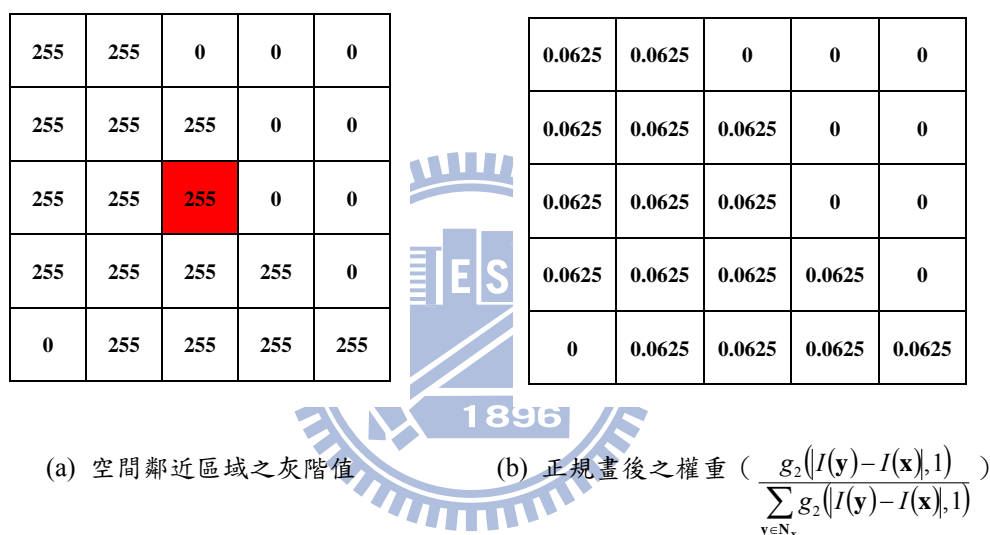


圖 2.5 空間鄰近區域之灰階值差異特性

2.1.4 綜合距離特性與灰階值差異特性之探討

雙向濾波器由距離 (2.1.2) 與灰階值差異 (2.1.3) 兩項特性組成。第一部分即為高斯平滑濾波器，在加權平均其鄰近區域內所有像素點時，越靠近中心點之像素點的權重越高；第二部分為相似度比較，即加權平均鄰近區域內所有像素點時，該像素點與中心點之灰階值差異越小，則其權重越高。因此，我們可以將雙向濾波器視為一個隨像素點位置作調適性加權的高斯平滑濾波器，此調適性的加權即依據像素點的灰階值作改變。

2.2 利用空間及時間域雙向濾波器之雜訊濾除

雙向濾波器為一鄰近點濾波器，此濾波器以目前欲處理之像素點為中心點，並藉由其鄰近像素點之距離及灰階值差異特性作加權平均的計算。因此，使用雙向濾波器時，中心點的鄰近像素點將影響濾波器處理之結果。如 2.1.1 所述，此鄰近點可為時間鄰近點，亦可為空間鄰近點，本節將介紹此兩種系統之雙向濾波器之差異及適用範圍。

2.2.1 空間域雙向濾波器

空間域雙向濾波器以 2.1.1 所描述之空間距離域的鄰近像素點為依據，並搭配灰階值差異特性以加權平均的方式計算每一個像素點之結果。空間域雙向濾波器處理影像中每一個像素點時，可藉由該點之所有空間鄰近點調整自己本身的色彩值，並達成平滑化之目的。

我們將空間域雙向濾波器應用於一般彩色影像，並與平均濾波器作比較。圖 2.6(a)為一彩色原始影像，圖 2.6(b)(d)(f)分別為大小不同之平均濾波器處理原始影像之結果，由此三圖可觀察出平均濾波器將影像過度均化造成模糊效應的情形隨著濾波器越大越嚴重。圖 2.6(c)(e)(g)分別為大小不同之空間域雙向濾波器處理原始影像之結果，相較於大小相同之平均濾波器，空間域雙向濾波器對於細節及邊緣的之處理皆有較理想之效果。

監控影像畫面之雜訊通常需在連續影像的情況下才会有畫面色彩值跳動等較為顯著的特徵，固無法藉由單一影像(圖 2.6)觀察此類畫面跳動雜訊。然而，我們可由圖 2.6(a)中理論上色彩應該平滑之區域(如紅色矩形內之馬路)觀測處理後之結果是否有平滑化，如此亦是一種雜訊消除的情況。由於雙向濾波器考慮了色彩值相似度，相較於圖 2.6(f)，圖 2.6(e)雙黃線的部分並未被過度平滑化而產生模糊的現象。



(a) 原始影像



(b) 平均濾波器處理之結果 (3x3)



(c) 空間域雙向濾波器處理之結果 (3x3)



(d) 平均濾波器處理之結果 (5x5)



(e) 空間域雙向濾波器處理之結果 (5x5)



(f) 平均濾波器處理之結果 (7x7)



(g) 空間域雙向濾波器處理之結果 (7x7)

圖 2.6 平均濾波器與空間域雙向濾波器 ($\sigma_D = 0.8$ 、 $\sigma_I = 1$) 處理結果

我們將空間域雙向濾波器應用於夜間近紅外線灰階影像，圖 2.7(a)(b)分別為原始影像、使用空間域雙向濾波器處理之結果影像，為了突顯兩張影像之差異，圖 2.7(c)(d)分別為將兩張影像對應位置的像素點，將其差值之絕對值乘以 10 及 50 的結果。雖然空間域雙向濾波器在邊緣部分有較平均濾波器更好之結果，但由圖 2.7(c)可知仍然會有被平滑化之情況發生。而圖 2.7(d)則可看出非邊緣的部分受平滑化之影響，此區域可能為雜訊亦或是背景的紋理。

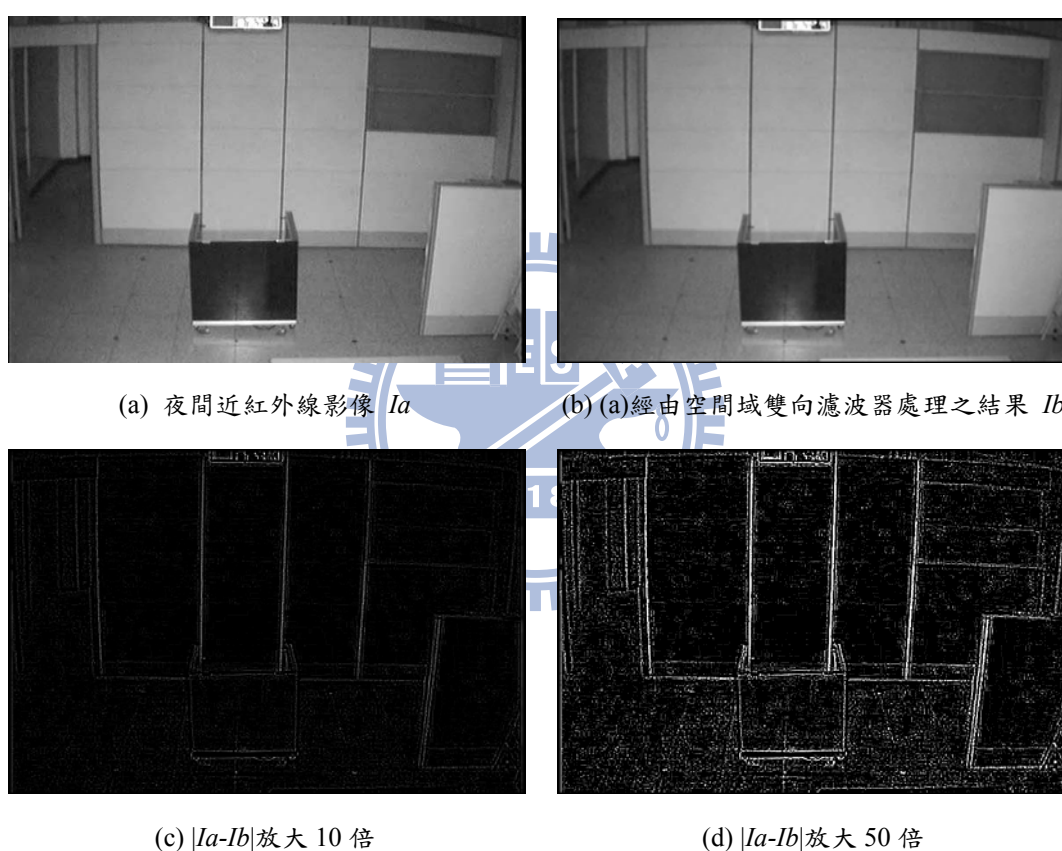


圖 2.7 空間域雙向濾波器之邊緣均化效應

2.2.2 時間域雙向濾波器

假設我們有一段未含有前景且背景穩定的連續影像，若想取得濾除雜訊之背景影像，較快速的方式為以每一個位置像素點為單位，計算此連續影像相同位置像素點的平均數。在背景穩定的情況下，同位置像素點出現雜訊次數相較於連續影像數量較小，因此我們尚可以用眾數、中數及去頭去尾之平均數等多種簡單統

計方法來取得背景色彩值。

我們藉由此連續影像之各個像素點平均數的概念，只取自訂大小之鄰近時間內像素點的平均數，如此將可獲得一個連續的平均影像，此亦可為背景影像。此外，時間域雙向濾波器亦符合此概念，其該濾波器之灰階值差異特性類似於平均數的概念，而距離特性則是將鄰近影像再各加入一個權重值。此考量是相當合理的，因為我們利用此影像之時間鄰近影像做為參考，且時間離原始影像越近的鄰近影像，其參考價值比時間較遠的影像來的大，當影像畫面中有漸進式變化時，才能突顯出漸進變化中各個影像的重要意義不同。

如圖 2.8(a)(c)分別為一個不連續的彩色原始影像，而圖 2.8(b)(d)分別為圖 2.8(a)(c)經時間域雙向濾波器處理之結果。由圖 2.8(a)(b)之紅色矩形的範圍可看出時間域雙向濾波器能夠平滑化穩定的背景，處理後的結果其空間變異較小，符合此區域背景原有之性質。圖 2.8(c)(d)之藍色矩形的範圍可看出，搖曳樹葉之背影經由該濾波器處理後有輕微的模糊效應。圖 2.8(e)(f)分別為一個近紅外線的灰階影像及其經時間域雙向濾波器處理之結果，其中紅色及藍色矩形皆包括了平滑化穩定背景之結果。



(a) 原始彩色影像 1

(b) (a)經時間域雙向濾波器處理之結果

圖 2.8 時間域雙向濾波器 ($|N_x|=21$ 、 $\sigma_D=2.0$ 、 $\sigma_I=5$) 處理結果與原始影像之比較



(c) 原始彩色影像 2



(d) (c)經時間域雙向濾波器處理之結果



(e) 原始灰階影像



(f) (e)經時間域雙向濾波器處理之結果

圖 2.8 (續)

2.3 利用時空域雙向濾波器濾除近紅外線影像之雜訊

當連續影像沒有前景且背景穩定時，取得濾除雜訊之背景影像最快速的方式為每次挑選數張連續影像並計算此連續影像中每一個像素點之平均值，2.2.2 所描述之時間域雙向濾波器亦相當符合此概念。然而，使用時間域雙向濾波器濾除雜訊有個缺點，即當中心點本身為雜訊時會使正確性大幅降低。造成此錯誤的主要原因為此濾波器考慮中心點與所有時間鄰近點的灰階值差異以分配權重，但因中心點本身為雜訊，其他鄰近點與中心點之灰階值差異無法反映真實無雜訊影像之情形，因此造成權重分配錯誤。本節將以時空域雙向濾波器改善此中心點為雜訊所造成的問題，並在此濾波器計算的過程中額外提供一個類似前景偵測之結果。

2.3.1 時空域雙向濾波器之架構

針對中心點為雜訊的狀況，文獻[9]提出一種時空域雙向濾波器改善此問題。此濾波器係利用時間域雙向濾波器為基礎，再將空間域雙向濾波器之概念整合進時間域雙向濾波器的灰階值差異特性。假設有一時間域雙向濾波器如式(2.1)，其中時間鄰近點與中心點的灰階值差異為 $|I(\mathbf{y}) - I(\mathbf{x})|$ ，但因中心點 \mathbf{x} 為一雜訊， $|I(\mathbf{y}) - I(\mathbf{x})|$ 的參考價值就大幅降低。

文獻[9]提出一個空間相異度的方法解決此問題，令 \mathbf{N}_y^S 與 \mathbf{N}_x^S 分別為中心點 \mathbf{x} 及時間相鄰像素點 \mathbf{y} 其個別的空間鄰近點集合，此兩空間之相異度如下

$$D(\mathbf{N}_y^S, \mathbf{N}_x^S) = \frac{\sum_{\mathbf{p} \in \mathbf{N}_y^S, \mathbf{q} \in \mathbf{N}_x^S} g(\|\mathbf{p} - \mathbf{y}\|, \sigma_s) |I(\mathbf{p}) - I(\mathbf{q})|}{\sum_{\mathbf{p} \in \mathbf{N}_y^S, \mathbf{q} \in \mathbf{N}_x^S} g(\|\mathbf{p} - \mathbf{y}\|, \sigma_s)} \quad (2.4)$$

其中 \mathbf{p} 與 \mathbf{q} 為其所屬空間鄰近點集合之對應位置的像素點， σ_s 為此空間相異度高斯分佈之變異數，若兩空間之像素點灰階值分佈越相似， $D(\mathbf{N}_y^S, \mathbf{N}_x^S)$ 之值會越小；反之，若兩空間之像素點灰階值分佈越不相似，此值則會越大。經過此部分修正後，時空域雙向濾波器成為

$$B(\mathbf{x}, \sigma_D, \sigma_I) = \frac{\sum_{\mathbf{y} \in \mathbf{N}_x^T} g(\|\mathbf{y} - \mathbf{x}\|, \sigma_D) g(D(\mathbf{N}_y^S, \mathbf{N}_x^S), \sigma_I) I(\mathbf{y})}{\sum_{\mathbf{y} \in \mathbf{N}_x^T} g(\|\mathbf{y} - \mathbf{x}\|, \sigma_D) g(D(\mathbf{N}_y^S, \mathbf{N}_x^S), \sigma_I)} \quad (2.5)$$

其中 \mathbf{N}_x^T 即代表像素點 \mathbf{x} 之時間鄰近點集合。由於時空域雙向濾波器已經不再以單一像素點做為灰階值差異特性的依據，而是以整個空間鄰近點的相異度作為依據，因此當中心像素點為雜訊時，此濾波器結果受中心點的影響將被其他空間鄰

近點稀釋。本濾波器之分母部分有兩項用途：一為正規化因子（normalization factor），使其加權平均之權重值總和為 1；二為該像素點是否為前景物的判斷標準，此部分將於下一部分詳加介紹。

2.3.2 利用時空域雙向濾波器之前、背景判斷

由於每次處理一個像素點時，我們需計算鄰近時間的同一位置像素點其空間相異的程度，並依其時間距離及空間相似程度分配權重值。因此，當時間域中該像素點正經歷前背景交替時，會因為鄰近時間之空間相異程度高使得此正規化因子較小；反之，若該像素點一直呈現穩定的狀態，此正規化因子就會較大。

因此，我們制定一個理想背景值，當正規化因子大於此理想背景值時，我們即可視此像素點為背景像素點；反之，我們則視此像素點為前景像素點。我們利用正規化部分的距離特性以及灰階值差異特性之高斯分佈函式變異數來計算理想背景值



$$\omega = \gamma \times g(0, \sigma_D) \times g(0, \sigma_I) \quad (2.6)$$

其中，當高斯分佈函式之平均數為零時，代表不論是距離或是灰階值差異特性皆與實際背景吻合，為一個最穩定的理想值。因此，我們將此兩個平均數為零之高斯機率值與數值 γ 相乘，即可獲得理想背景值 ω 。往後，我們在計算每一個像素點時，即可依時空域雙向濾波器的概念累加其時間鄰近像素點高斯機率值，並期望此正規化因子大於理想背景值，即視此像素點為背景。

2.3.3 應用時空域雙向濾波器之效果

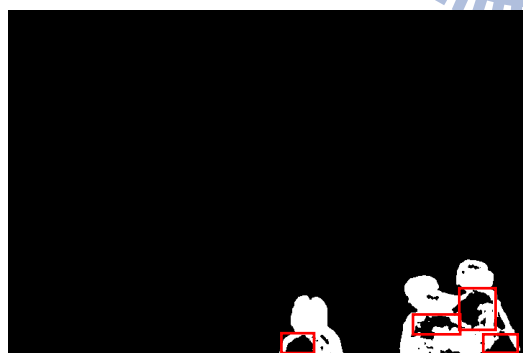
由前部份之前、背景判斷法則，除了雜訊濾除外，我們尚可將連續影像中前景及背景的部分切割出來。其中被認定為前景的像素點，主要是因為該像素點在

連續時間下，其灰階值有明顯地變化，導致時空域雙向濾波器之正規化因子過小不符合理想背景值之門檻，此情況會發生於前景物剛進入或離開此像素點以及此像素點有灰階值跳動（即雜訊）的時候。

圖 2.9(a)是一近紅外線原始影像，圖 2.9(b)是時空域雙向濾波器判斷前、背景之結果影像，由於行人之衣服面積較大，在行進的過程中重疊次數多。當此區域於時間鄰近點的範圍內出現頻率過高，會將此區域視為背景如紅色矩形所示。圖 2.9(c)是時空域雙向濾波器之雜訊濾除結果，由於此顯示為單張影像畫面，其降低灰階值跳動的現象較無法呈現。



(a) 原始影像



(b) 時空域雙向濾波器之前景偵測結果



(c) 時空域雙向濾波器之雜訊濾除結果

圖 2.9 時空域雙向濾波器之結果

第三章 基於高斯混合模型之人物偵測

文獻[6]提出之高斯混合模型是目前最常被使用的背景建模模型，其概念自統計學出發，並對連續影像建立背景機率模型。本章我們將介紹高斯混合模型之原始模型概念及其建立背景及參數更新機制，之後將模型導入我們的系統並針對夜間環境特別的照明設施進行模型之改良。

3.1 高斯混合模型之基本型態

高斯混合模型為目前最常用之背景建模模型之一，此模型對於穩定背景或漸進式變化背景有理想的處理能力，因此已經被廣泛的應用於固定式攝影機之背景建模方法。本節將介紹高斯混合模型之基本型態及其執行過程、參數更新機制。

假設有一影像串列 $\{X_1, \dots, X_t\}$ 且時間點 t 之影像 X_t 為本次新進之影像，則在 X_t 以前之影像皆已經依時間順序建立過背景高斯混合模型。本模型以空間中每一個位置像素點為單位建立 K 組高斯分佈，此高斯分佈即代表此像素點可能之背景灰階值範圍。除此之外，本模型會逐步更新第 k 組 ($1 \leq k \leq K$) 高斯分佈的高斯平均數 $\mu_{k,t}$ 、標準差 $\sigma_{k,t}$ 及權重值 $\omega_{k,t}$ 。平均數及標準差將作為新進影像之像素點是否符合背景高斯的評斷標準，而權重值大小則與其所屬之高斯分佈於此像素點之出現機率多寡呈正相關。

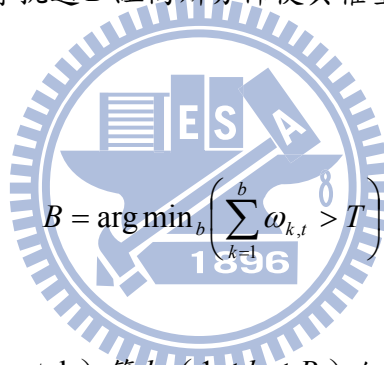
3.1.1 高斯混合模型之初始化

當本模型開始執行時，由於第一張影像 X_1 沒有先前已建立之高斯資訊，因此必須對高斯混合模型進行初始化。初始化即依 X_1 中每一個像素點 x_1 之灰階值 $I(x_1)$ 建立第一組 ($k=1$) 高斯分佈，並將此高斯分佈之平均值 $\mu_{1,1}$ 設定為 $I(x_1)$ ，

標準差 $\sigma_{1,1}$ 及權重值 $\omega_{1,1}$ 設定為系統預設值。

3.1.2 高斯混合模型之背景偵測機制

每當有新進影像時，高斯混合模型會對每一個像素點挑選 B 組已建立之高斯分佈作為背景高斯，只要像素點 x_t 符合此 B 組背景高斯，則將此像素點判斷為背景，反之即為前景。 B 的數量取決於該像素點其目前所有高斯分佈的權重值與標準差，本模型以權重值除以變異數之結果值為依據，認為此值最大的高斯分佈有背景可能性高（權重值大）、背景之灰階值穩定性高（變異數小）兩種符合穩定背景的特性。因此本模型會將像素點所有高斯分佈的權重值除以變異數之結果值作由大至小的排序，並依序挑選 B 組高斯分佈使其權重值總和小於一個自訂臨界值 T



$$B = \arg \min_b \left(\sum_{k=1}^b \omega_{k,t} > T \right) \quad (3.1)$$

判斷像素點 x_t 是否符合（match）第 k （ $1 \leq k \leq B$ ）組背景高斯時，需滿足

$$\left(I(x_t) - \mu_{k,t-1} \right)^2 \leq 2.5 \times \sigma_{k,t-1}^2 \quad (3.2)$$

其中， $\mu_{k,t-1}$ 及 $\sigma_{k,t-1}^2$ 分別代表先前建立的高斯分佈之平均數及變異數， $I(x_t)$ 為 x_t 的灰階值。只要該灰階值與平均數的差距夠小，則判斷此像素點符合此背景高斯分佈；反之，則判斷此像素點不符合此背景高斯分佈。如果一個像素點符合任何一個背景高斯，則可視此像素點為背景；反之，則視此像素點為前景。

3.1.3 高斯混合模型之新高斯建立方式

若經由 3.1.2 判斷影像中像素點為前景，則必須對此點建立一個新的高斯分佈。若目前已存在的高斯分佈數目尚為達到最大值 K ，則會依 3.1.1 所述高斯初始化的方式建立一個全新的高斯分佈；若目前已存在 K 個高斯分佈，我們則會刪除權重值除以變異數之結果為最小的高斯分佈並利用初始化的方式建立一個全新的高斯分佈。刪除此高斯分佈的理由已經於 3.1.2 描述，我們挑選一個背景出現率低（權重小）且不穩定（變異數大）之背景高斯刪除，希望刪除最不穩定的背景會對此背景模型產生最小的負面影響。

3.1.4 高斯混合模型之參數更新及權重值正規化

若經由 3.1.2 判斷新進影像 X_t 中像素點 x_t 符合第 k 組背景高斯，則更新該像素點所屬背景高斯的權重值 $\omega_{k,t}$ 、平均數 $\mu_{k,t}$ 及標準差 $\sigma_{k,t}$ 。像素點符合第 k 組背景時，其權重值需要更新

$$\omega_{k,t} = (1 - \alpha)\omega_{k,t-1}^* + \alpha \quad (3.3)$$

其中， α 決定該像素點符合背景時，背景高斯的權重值提升的速度， $\omega_{k,t-1}^*$ 則表示歷史資訊之權重值經正規化後之結果。除了權重值以外，平均數與標準差亦需要更新

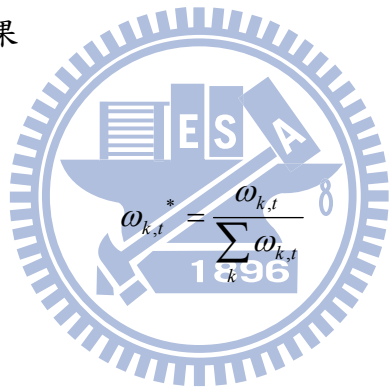
$$\mu_{k,t} = (1 - \rho)\mu_{k,t-1} + \rho I(x_t) \quad (3.4)$$

$$\sigma_{k,t}^2 = (1 - \rho)\sigma_{k,t-1}^2 + \rho(I(x_t) - \mu_{k,t})(I(x_t) - \mu_{k,t}) \quad (3.5)$$

其中， ρ 決定此高斯分佈之平均數與標準差更新的速度。如果像素點不符合第 k 組背景高斯，則只更新其所屬背景高斯的權重值 $\omega_{k,t}$ ，其更新的方式為降低該背景高斯之權重值

$$\omega_{k,t} = (1 - \alpha)\omega_{k,t-1}^* \quad (3.6)$$

不論像素點為背景或前景，由於其權重值皆已被更新過，因此在處理每一個像素點之後必須對此點之所有高斯分佈的權重值進行正規化。正規化步驟即希望經由同步等比例調整後所有高斯分佈的權重值總合為 1，正規化權重值 $\omega_{k,t}^*$ 即代表 $\omega_{k,t}$ 經由正規化後之結果



$$\omega_{k,t}^* = \frac{\omega_{k,t}}{\sum_k \omega_{k,t}} \quad (3.7)$$

高斯混合模型可藉由此三種參數之更新來適應漸進式變化背景，因此此模型之特性即藉由此機制達到即時偵測並學習之目的，下節將介紹以本模型套用至一些影像範例並觀測其偵測的結果是否理想。

3.2 利用高斯混合模型進行夜間近紅外線影像之前景偵測

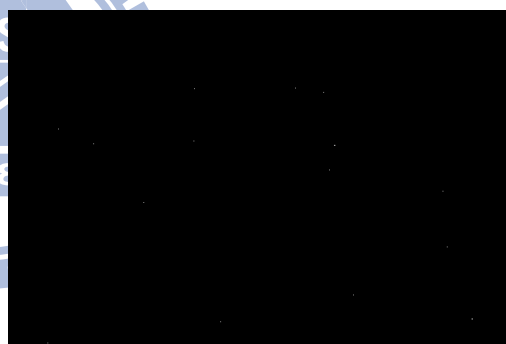
前一節所介紹的高斯混合模型是目前常用的背景建模模型，本節即利用此模型進行前景偵測，並將前景影像結果以二質影像的方式呈現，此二質影像中白色部分代表前景、黑色部分代表背景，後面章節出現的所有『前景影像』皆為此呈現方式。最後再將利用連通元件（connected component）標示法將此二質影像之前景部分的外接矩形找出，並標記於原始輸入的影像。

3.2.1 前景偵測結果

本節所呈現之前景偵測結果係利用高斯混合模型之背景高斯為基準判斷新進影像的每一個像素點是否符合此背景高斯。圖 3.1 為高斯混合模型作前景偵測之結果。圖 3.1(a)(c)(e)分別為原始之不連續影像畫面，而圖 3.1(b)(d)(f)分別為經過高斯混合模型處理後之前景影像結果。由圖 3.1(b)可看出當影像中無前景物時，使用高斯混合模型作前景偵測只會有少數的單一像素點前景，我們可將此前景視為影像中的雜訊。由於現在的攝影機多半會有自動對焦 (auto focus)、自動曝光 (auto exposure) 及自動白平衡 (auto white balance) 之 3A 機制，因此每當前景一出現於畫面時，攝影機錄製影像時會作微調。而這些調整會使雜訊提高而導致前景偵測的結果出現更多雜訊點如圖 3.1(d)及圖 3.1(f)所示。



(a) 原始影像 1



(b) (a)經高斯混合模型處理後之前景影像



(c) 原始影像 2



(d) (c)經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.1 高斯混合模型進行前景物體偵測之結果



(c) 原始影像 3



(f) (c)經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.1 (續)

3.2.2 微小雜訊點之濾除

由於 3.2.1 所獲得之前景影像有雜訊點，將對後續處理造成困難，因此本部份針對此微小之像素雜訊點進行濾除。而考慮的方式有兩種：一為第二章所描述之雙向濾波器，在進行高斯混合模型之背景建構以及前背景分割之前，先以時空域雙向濾波器處理影像；二是利用影像之型態學進行雜訊濾除，此部分主要是在高斯混合模型之背景建構以及前背景分割以後，對前背景結果影像作處理。本小節將對此兩種方法作說明並比較其結果差異。

利用高斯混合模型對雙向濾波器濾除雜訊之結果作前景偵測

如圖 1.2 之流程圖所示，我們使用第二章所介紹之雙向濾波器濾除影片雜訊後，再將其結果影片以高斯混合模型處理並偵測前景物體。圖 3.2(a)(b)分別為圖 3.1(c)(e)使用雙向濾波器濾除雜訊之結果，而圖 3.2(c)(d)則分別為圖 3.2(a)(b)經由高斯混合模型處理後之前景影像結果，可觀察出使用雙向濾波器處理後之影片，其背景部分被高斯混合模型判斷為前景之像素點大量的減少，也就是說像素點之灰階值跳動（即雜訊）情形大幅降低。使用雙向濾波器處理影片可以有效的降低畫面跳動的情形，以提供較理想的影片品質，但需要大量的運算時間。因此，若要在即時系統下運行，目前微小雜訊點的濾除多採用接下來將介紹的影像型態學方法處理。

利用影像型態學方法將前背景分割結果之微小雜訊濾除

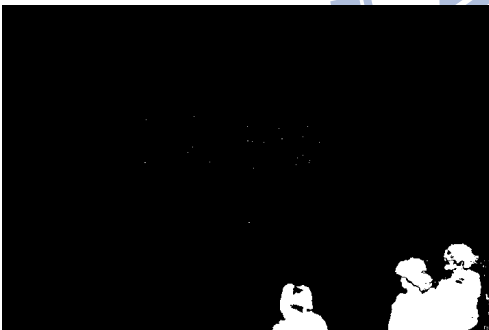
文獻[1]之第九章中提到型態學中的侵蝕 (erosion) 與擴散 (dilation) 搭配運用可以濾除小面積的雜訊點，因此型態學常常被用以搭配高斯混合模型的雜訊濾除方式。圖 3.2(e)(f)分別為圖 3.1(d)(f)經由型態學之灰階斷開 (opening) 濾除微小雜訊點之結果，相較於以雙向濾波器為雜訊濾除之方法如圖 3.2(c)(d)，使用型態學濾除前背景分割結果之微小雜訊點，其優勢在於運算量大幅減少，且經過此方式處理後亦能獲得理想的前景背景分割結果。



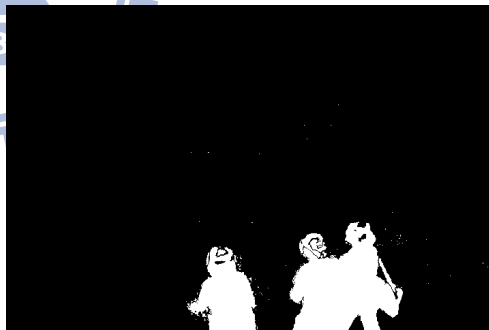
(a) 以雙向濾波器處理圖 3.1 (c)之結果



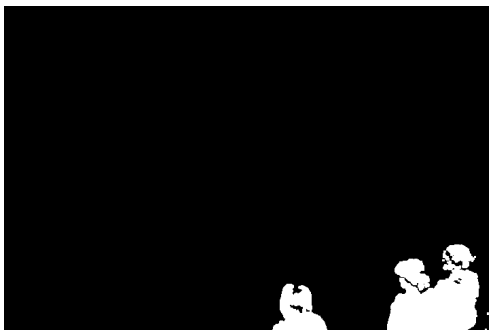
(b) 以雙向濾波器處理圖 3.1 (e)之結果



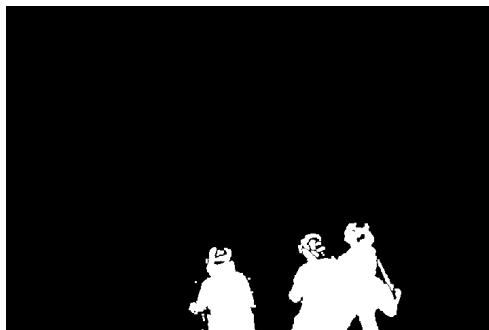
(c) (a)經高斯混合模型處理後之前景影像



(d) (b)經高斯混合模型處理後之前景影像



(e) 以型態學處理圖 3.1 (d)之結果



(f) 以型態學處理圖 3.1 (f)之結果

圖 3.2 利用雙向濾波器以及影像型態學濾除微小雜訊點之結果

3.3 運用雙模式高斯混合模型於夜間感應式照明環境之人物

偵測

如 1.1 節所述，由於夜間監控環境缺乏光源，欲拍攝此監控影像需使用近紅外線攝影機，目前此類攝影機已普遍設置於監控環境中各個重要的位置。如大樓進出入口、電梯及樓梯口等重要位置多數會額外增加感應式照明設施，此照明設施多數配合行人經過的頻率及安全重要性安裝於夜間監控環境中，當其感應到行人經過即啟動照明功能，當行人離去數秒後才會再關閉照明功能。此設施除了能增加影像亮度之外，還可增加環境能見度以利行人安全通行，除此之外，亦可對入侵者產生嚇阻作用。圖 3.3(a)為行人經過門口之影像，當感應式照明設施感應到行人即啟動照明功能如圖 3.3(b)。

高斯混合模型（如 3.1 節所述）除了能夠有效地對穩定背景環境進行前背景分割處理，即使是漸進式變化之背景，高斯混合模型亦能以其即時偵測並學習的特性有效地處理，如黃昏時分日光強度逐漸變弱等環境。由於感應式照明設施啟動時，環境中的亮度瞬間且大幅變化，該環境並非呈現出穩定或漸進式變化之背景，所以高斯混合模型無法適用於此劇烈變化之背景。

除此之外，在假設高斯混合模型已經能夠處理照明設施啟動後之環境並已經成功地建構背景模型的前提下，由於照明設施啟動時會使前景物體的影子變得特別明顯，如圖 3.3(b)之人影面積（紅色矩形）比人類的面積（綠色矩形）還大。如此將造成前景外接矩形會將非之前景（影子部分）也包含在內，不符合一般安全監控所預期的結果。本節針對此感應式照明環境之種種問題做額外處理，期望能獲得更理想的前景外接矩形。



(a) 感應式照明功能啟動前

(b) 感應行人後啟動照明功能

圖 3.3 感應式照明設施環境

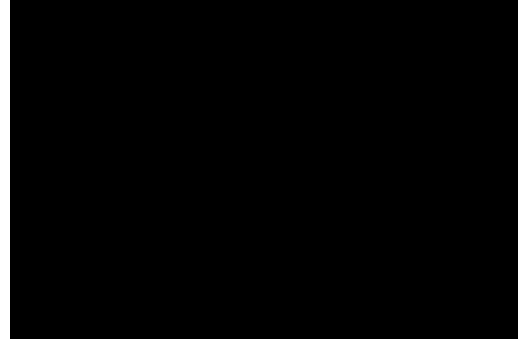
3.3.1 調整高斯混合模型之參數以用於感應式照明設施環境

以高斯混合模型進行夜間感應式照明環境之物體偵測，因照明設施啟動與關閉時會造成背景劇烈改變，而此情況多發生於前景出現於畫面中重要位置，因此使用高斯混合模型經常會使監控影片中關鍵影像畫面皆呈現錯誤的偵測結果。

為行人經過時照明設備開啟之影像及其使用高斯混合模型判斷之結果，其中圖 3.4 (a)(c)(e)(g)(i)為不連續之原始影像，其高斯混合模型進行的前背景偵測結果影像分別為圖 3.4(b)(d)(f)(h)(j)。圖 3.4(a)為照明設施開啟前之影像，此時畫面中沒有前景物體，其偵測結果如圖 3.4(b)。由於照明設施完全開啟需約四個影像畫面，而圖 3.4(c)為照明設施開啟後第一張影像，仍非燈光穩定之畫面，因此將偵測出亮度有變化的像素點為前景如圖 3.4(d)。由於我們的高斯混模型學習開燈後環境之背景需要約略 3 秒之時間，如圖 3.4(i)為照明設施開啟後第九十張影像，我們的模型已更新背景並只偵測前景部分如圖 3.4(j)。雖然 3 秒的時間很短暫，但在許多監控場景下已足夠讓目標前景物體由監控畫面中之重要位置離開甚至離開整個監控畫面，而此過程中的偵測結果皆錯誤，如圖 3.4(e)(g)為燈光已經穩定且行人位於重要監控位置（出入口正下方）之畫面，然而其偵測結果皆不理想如圖 3.4(f)(h)，因此使用一般高斯混合模型的更新速度是不足以應付此感應式照明環境的。



(a) 照明設施開啟前影像



(b) (a)經高斯混合模型處理後之前景影像



(c) 照明設施開啟後第一張影像



(d) (c)經高斯混合模型處理後之前景影像



(e) 照明設施開啟後第三十張影像



(f) (e)經高斯混合模型處理後之前景影像



(g) 照明設施開啟後第四十張影像



(h) (g)經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.4 使用高斯混合模型進行感應式照明環境之物體偵測



(i) 照明設施開啟後第九十張影像



(j) (i)經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.4 (續)

基於高斯混合模型更新速度太慢造成監控影片中之關鍵影像畫面的偵測結果不正確，我們試著調整高斯混合模型的學習速度參數，期望此方式足以應付感應式照明環境之背景劇烈改變問題。本實驗之高斯混合模型之學習速度參數預設值為 0.01，如果為了增加背景更新速度，將此參數調整為 0.03 來進行實驗。高斯混合模型在調整此參數以後，其學習開燈後環境之背景需要約三十個影像畫面，約略為 1 秒，圖 3.5(a)為此時之偵測結果，相較於圖 3.4(f)之結果，可看出提高新速度之參數能使高斯混合模型更快速的學習開啟照明設施後之背景，因此能將監控畫面中之部分重要監控位置（出入口正下方）影像保留。加快學習速度雖然將監控畫面中之部分重要影像保留，卻可能因畫面更新速度過快導致移動較慢的部分前景區域被判斷為背景，如圖 3.5(b)為開燈後第四十個影像畫面，其中人之影子部分區域由於行徑過程中重疊存在時間過長，造人影的中間區域被更新為背景。



(a) 圖 3.4(e)經處理後之前景影像



(b) 圖 3.4(g)經處理後之前景影像

圖 3.5 調整學習速度參數之高斯混合模型進行感應式照明環境之物體偵測

3.3.2 雙模式高斯混合模型與開關照明設施之事件偵測

如 3.3.1 所描述，即使調高高斯混合模型之學習速度，每次照明設施開啟或關閉時都會有一段時間無法正確地偵測前景，而且學習速度過快亦容易導致前景物體因短暫佇留被更新成背景而造成誤判。由此可見，單純調整高斯混合模型之學習速度參數並無法有效解決感應式照明環境之背景迅速且劇烈變化的問題。

文獻[10]針對此類問題提出一個背景補償之解決方法，由於該論文是以台灣雪山隧道發展監控系統，因此可以清楚定義影像畫面中背景不穩定區域（車道）及背景穩定區域（非車道）。背景補償方法藉由偵測背景穩定區域之色彩值迅速且劇烈變化，並利用該變化量補償回背景不穩定區域再執行後續前景及事件等偵測。雪山隧道之環境可以明確地定義其背景穩定區域及不穩定區域，並藉由穩定區域之色彩資訊偵測開燈及關燈狀態，然而本系統之應用環境無法如此定義，因此我們參考其概念提出雙模式之高斯混合模型希望能改善此環境之偵測結果。

雙模式之高斯混合模型可分為平常的關閉照明設施模式（後稱為關燈模式）及前景經過導致照明設施啟動的開啟照明設施模式（後稱為開燈模式），此兩組模式各別為一高斯混合模型。我們依據開關照明設施之事件偵測進行模式交替的切換，並期望在開、關燈模式下此模型皆能達成理想之偵測結果。

開、關照明設施之事件偵測

若要達成理想的偵測結果，我們要確實掌握開、關燈模式切換的時機，因此開、關照明設施之事件偵測是相當重要的。我們利用高斯混合模型之前景結果影像為基礎，並使用簡單的像素點數目統計資訊迅速地進行此事件偵測。

監控過程中不論是開燈還是關燈，其環境亮度皆改變劇烈，使用高斯混合模型進行偵測之前景結果影像其畫面中會有大量像素點為前景，如

(d)其前景區域佔畫面約三分之一之面積。至於前景像素點佔畫面多寡則與場景及照明設施開關速度有關係。因此可以使用現在時間點 t 之影像前景像素點

數目 F_t 與影像總像素點數 $Total$ 作為照明設施開關改變之依據，若 F_t 超過畫面某一比例 R_N 即可能發生開、關燈事件並進行模式的切換

$$\frac{F_t}{Total} > R_N \quad (3.8)$$

為了偵測開燈模式切換為關燈模式或相反情況，我們需要觀察像素點亮度變化的趨勢。我們將此趨勢稱為亮度增減數 I_c ，並藉由投票機制決定此數大小，此機制以影像中每一個位置之像素點為單位，若現在影像之亮度值較前一張影像之亮度值大，則亮度增減數增加一單位；反之，則亮度增減數減少一單位。 I_c 之正、負值決定其為變亮（開燈）或變暗（關燈），而其大小 $|I_c|$ 則決定此趨勢之強弱。

即使開關燈切換的前一張影像畫面中有前景物，但由於此影像之背景仍然穩定，因此其前景像素點數不會過大。由於開、關燈會造成環境整體亮度以相同的趨勢變化，因此 $|I_c|$ 會遠大於時間點 $t-1$ 之影像前景像素點數目 F_{t-1} ，根據以上之觀察，我們利用式(3.9)判斷是否發生開關燈事件，其中， R_t 為系統設定之閾值

$$R_t > \frac{F_{t-1}}{|I_c|} \quad (3.9)$$

上述兩條件（式(3.8)與式(3.9)）成立即代表發生開、關燈事件，接著以亮度增減數之正負值來區分開燈變關燈及關燈變開燈的情況，若是關燈變為開燈，則亮度增減數為正值；反之，若是開燈變為關燈，則亮度增減數為負值。我們能利用此判斷條件進行開關照明設施之事件偵測，並在偵測得事件發生後進行開、關燈模式之切換。

雙模式之高斯混合模型

雙模式之高斯混合模型係針對開燈模式及關燈模式建立兩組高斯混合模型，並依據開關照明設施之事件偵測進行此兩模式交替之切換。然而不論監控影片初始環境之照明設備為開啟或關閉，我們最初只能建立其中一組模式之高斯混合模型，而如何在第一次切換模式時建立第二組模式之高斯模型亦為一個相當實際的問題。由於感應式照明環境其照明設施平常為關閉，因此本文之後的介紹皆以關燈模式為第一組高斯混合模型、開燈模式則為第二組高斯模型為例。

一般照明設施開關時環境亮度有一漸進變化的過程，如圖 3.4 之實驗需約五張影像才能使環境亮度穩定，有些照明設備甚至會更久，因此在初始化開燈模式之高斯混合模型時，前面幾張可信度不高的影像會造成初始化的參考資訊與預期背景不符，反而對開燈模式之高斯的建構造成干擾。基於此理由，我們考慮了下述兩種方式初始化開燈模式之高斯模型：

(i) 增加初始學習速度

我們將開燈模式之高斯模型的初始學習速度參數設定極大，並在之後偵測的過程中逐漸降低至與關燈模式相同，其優點在於即使開燈模式高斯初始化的參考資訊有干擾，卻能以快速更新的方式快速建立開燈之後的穩定背景。圖 3.6(a)為偵測到開燈事件後切換為開燈模式之第一張影像，圖 3.6(b)為其前景偵測的結果影像。圖 3.6(c)為切換開燈模式後之第二張影像，由於第一張影像之環境亮度尚未達穩定狀態，因此提供的背景資訊不正確，造成其前景偵測的結果亦不正確如圖 3.6(d)之結果。圖 3.6(e)為切換開燈模式後第十五張影像，此時背景光源已穩定並成功建立開燈模式之高斯，圖 3.6(f)為其前景偵測的結果影像，可看出已無其餘非前景的部分被誤判為前景。然而此方式由於初始學習速度過高，可能造成 3.2.1 所描述之部分前景物體中間區域被學習為背景而誤判，如圖 3.6(f)之前景人與影子中間的空洞。此外尚有一問題，即此方式在調低學習速度與第一組高斯相同後，原先影像的前景區域已有部分被學習

成為背景，造成該區域的背景與實際背景不同，因此之後使用學習速度較慢的高斯模型偵測會有殘影的現象產生，如圖 3.6(g)為模式切換後第三十張影像，由於其行徑路徑已被學習為背景，因此當人離開此路徑時，此方法將人原先之位置偵測為前景，如圖 3.6(h)為其前景偵測之結果影像，其中紅色矩形之位置為殘影現象。導致此情況的主要原因是學習速度參數的設定，而原先關燈模式設定之學習參數需要約九十個影像畫面才能學習穩定背景，因此調整學習參數與關燈模式相同之開燈模式亦需要約九十個影像畫面才能完全解決人殘影的現象。圖 3.6(i)(j)分別為調低學習參數後的第九十張影像及其前景偵測之結果影像，由前景結果可看出原先人的殘影現象已經由學習改善，但是影子的部分則因行徑重疊性過大產生殘影現象如圖 3.6(j)之紅色矩形。



(a) 模式切換後之第一張影像



(b) (a)經高斯混合模型處理後之前景影像



(c) 模式切換後之第二張影像

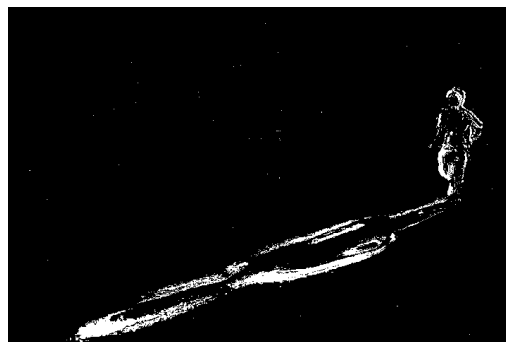


(d) (c)經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.6 調變式學習速度進行初始化開燈模式之高斯混合模型



(e) 模式切換後之第十五張影像



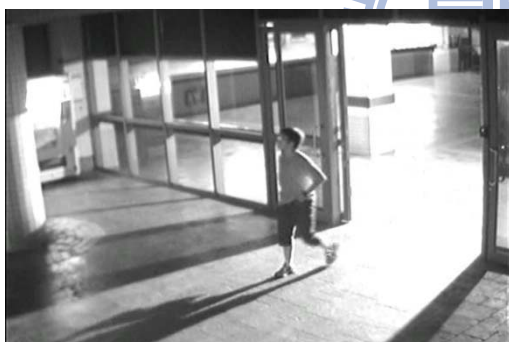
(f) (e)經高斯混合模型處理後之前景影像



(g) 模式切換後之第三十張影像



(h) (g)經高斯混合模型處理後之前景影像



(i) 調低學習參數後第九十張影像



(j) (i)經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.6 (續)

(ii) 忽略光源漸進變化過程之背景不穩定影像

在初始建立開燈模式之高斯模型時，忽略前面數張影像不予考慮，即跳過光源開啟的漸進式過程，而忽略的影像數量則可因亮度變化達穩定的速度調整，本例子將此數設定為十。圖 3.7(a)(b)分別為切換為開燈模式後第十五張影像及此方式建構出的背景所作的前景偵測之結果影像。可與圖 3.6(e)(f)比較，本方式因非使用學習參數調高的方式，畫面中之前

景不會快速地被建構於背景影像中，並能快速適應光源變化達穩定後的狀況。而此方式之缺點為忽略的十張影像則不做任何前景偵測，因此必須能容忍第一次切換模式的偵測結果會缺少幾張影像結果。



(a) 模式切換後之第 15 張影像

(b) (a)經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.7 忽略光源漸進變化過程進行初始化開燈模式之高斯混合模型

不論使用此兩種方式的任一種，其影響偵測結果只出現在第一次切換模式的時候。之後只需判斷模式切換事件，即切換為另一種高斯模型即可進行有效地偵測，而偵測結果只在開關燈之漸進過程會有錯誤。此漸進過程通常為短暫幾個影像畫面，因此不會對系統整體偵測結果造成太大的影響，因此使用雙模式之高斯混合模型能獲得理想的感應式照明環境之物體偵測結果。

3.3.3 開燈模式之人影濾除

由於感應式照明設施於開燈模式下多半會提供強光，人行經此環境通常會形成明顯之人影。使用雙模式之高斯混合模型切割出來的前景會包括這些與地面亮度差異較大的人影前景，且此人影前景通常會與人的腳相連，如此將造成前景區域過大，外接矩形包含大量非預期之前景資訊（只有人才是預期的前景）。除此之外，若是人影前景的行徑重疊性過大，會因高斯混合模型的更新機制被學習為背景並對接下來的偵測產生不良的影響。因此本研究希望能在強光照明的情況下將人及人影的前景分割出來，並只對人的部分進行高斯混合模型之背景更新。

圖 3.8(a)(c)(e)(g)(i)依序為感應式照明環境有順序性之不連續影像，藉由其分別之前景影像結果圖 3.8(b)(d)(f)(h)(j)觀察本模型處理人影所產生的問題。圖 3.8(b)因感應式照明設施剛開啟，其周圍尚有部分小雜訊。圖 3.8(d)因環境亮度已經穩定，周圍部分小雜訊已經減少很多。因為人影的路徑重疊性過大，將造成高斯混合模型容易將重疊性高之人影區域建構進高斯模型並擁有足以成為背景高斯之權重值，如圖 3.8(f)之紅色矩形內之人影中間區域，圖 3.8(h) 之紅色矩形內之人影中間區域亦有相同的問題。當人影離開此高重疊性之路徑時，亦會因人影已變成主要背景高斯而造成誤判，如圖 3.8(j)之紅色矩形內原為背景之地板因不符合新建的人影背景高斯模型而成為前景。



(a) 本範例第 550 張影像

(b) (a) 經高斯混合模型處理後之前景影像



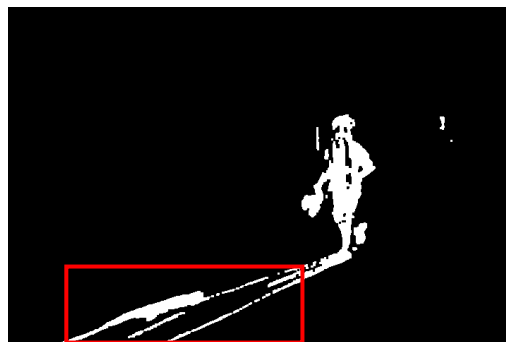
(c) 本範例第 580 張影像

(d) (c) 經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.8 人影造成高斯混合模型偵測之困難



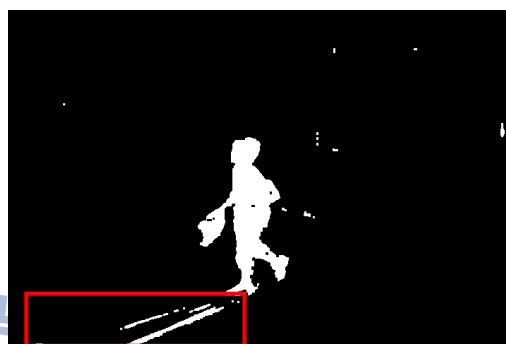
(e) 本範例第 610 張影像



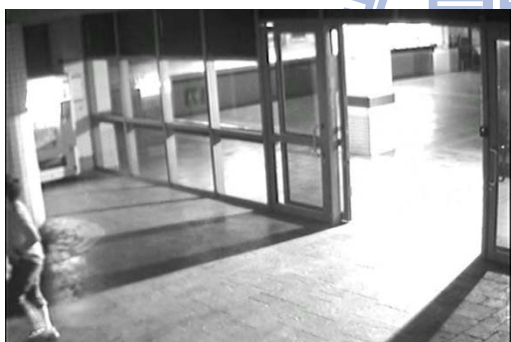
(f) (e) 經高斯混合模型處理後之前景影像



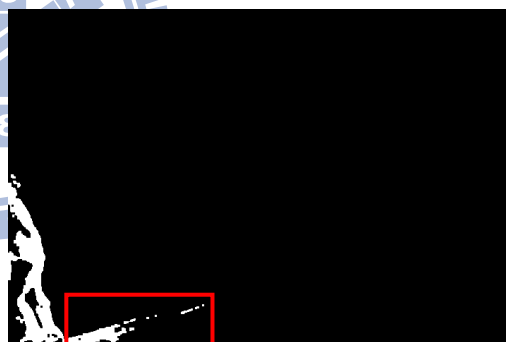
(g) 本範例第 640 張影像



(h) (g) 經高斯混合模型處理後之前景影像



(i) 本範例第 695 張影像



(j) (i) 經高斯混合模型處理後之前景影像

圖 3.8 (續)

文獻[11]提出一個以 HSV 色彩模型為基礎之影子濾除方式，然而夜間近紅外線影像皆為灰階影像，無法提供色彩之資訊，因此無法使用此類影子濾除方式。我們假設系統執行的環境其感應式照明設施所產生的影子，其角度 δ 之範圍為 $180^\circ < \delta \leq 225^\circ$ 或 $-45^\circ \leq \delta < 0^\circ$ 兩種，並設法對此兩種範圍內角度的影子進行濾除，如圖 3.8(b)之人影的角度介於 $180^\circ < \delta \leq 225^\circ$ 此範圍內，本部分將以此角度為範例進行介紹。

上述兩種角度之影子有兩個特性：一為該影子所在的區域皆比人類最低點（即立足點）之位置要低，因此我們可藉由偵測人類立足點的位置將該像素點以下之前景區域皆視為人影，並不對此區域進行高斯的更新；二為該影子角度之人類立足點可藉由 135° 以及 45° 背景掃描線快速地獲得，減少偵測立足點的複雜度。如圖 3.9 所示，我們將前景影像結果利用紅色虛線之 45° 掃描線以綠色實線的順序逐線搜尋，當尋找到影像中第一個前景像素點時，即視此點為立足點。

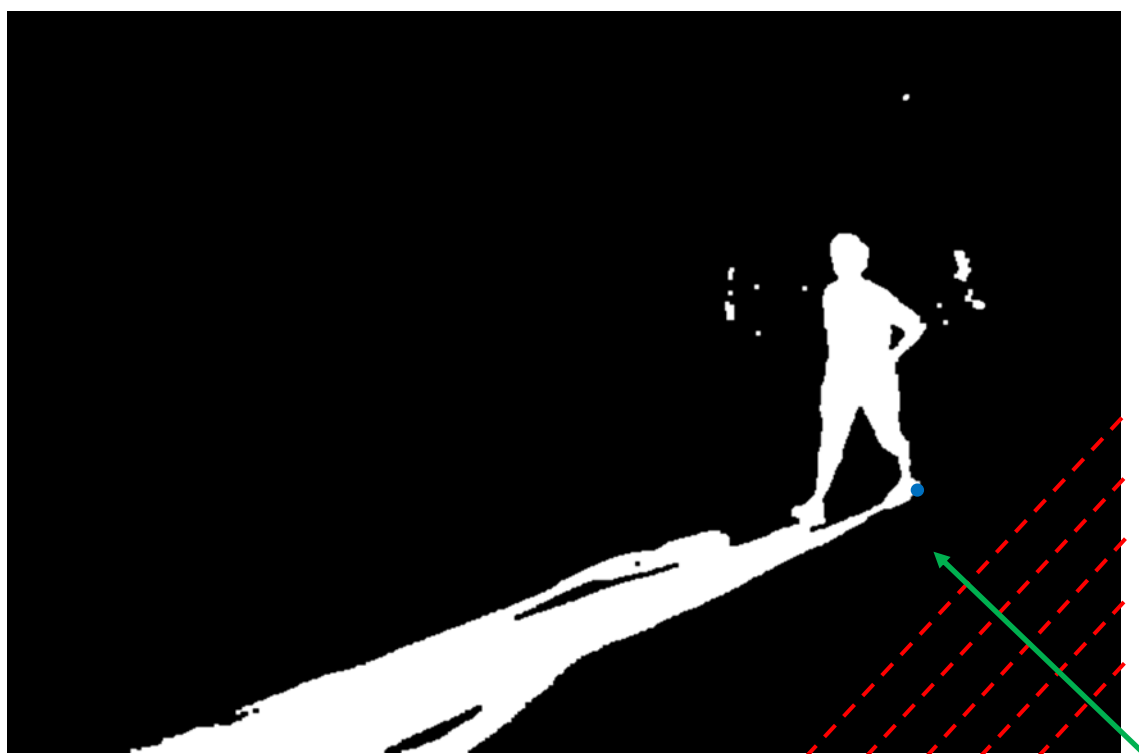


圖 3.9 利用掃描線偵測立足點位置（紅色虛線為 45° 之掃描線，綠色實線為掃描線執行掃描的順序，藍色圓點表示利用此掃描線獲得之立足點）

在此例中，利用此掃描線方式找到的立足點皆為人之後腳跟，即影像中相對位置於右方的那隻腳。然而由於人行走時，左右腳會交替作為立足腳，其兩腳的高低位置亦會互換，如圖 3.9 之立足腳為影像中相對位置於左方的那隻腳，且其高度亦較另外一隻腳為低，由此可知，僅以單向掃描的方式無法完全正確地掌握立足腳及找出影像中相對位置較低之腳。因此我們需額外以圖 3.10 之掃描方式來尋找前腳腳背，利用紅色虛線之 45° 掃描線以綠色實線的順序逐線搜尋，當尋

找到影像中背景區域掃描線長度小於 5 時，即視此掃描線已為掃描終點並判斷此點為前腳腳背。

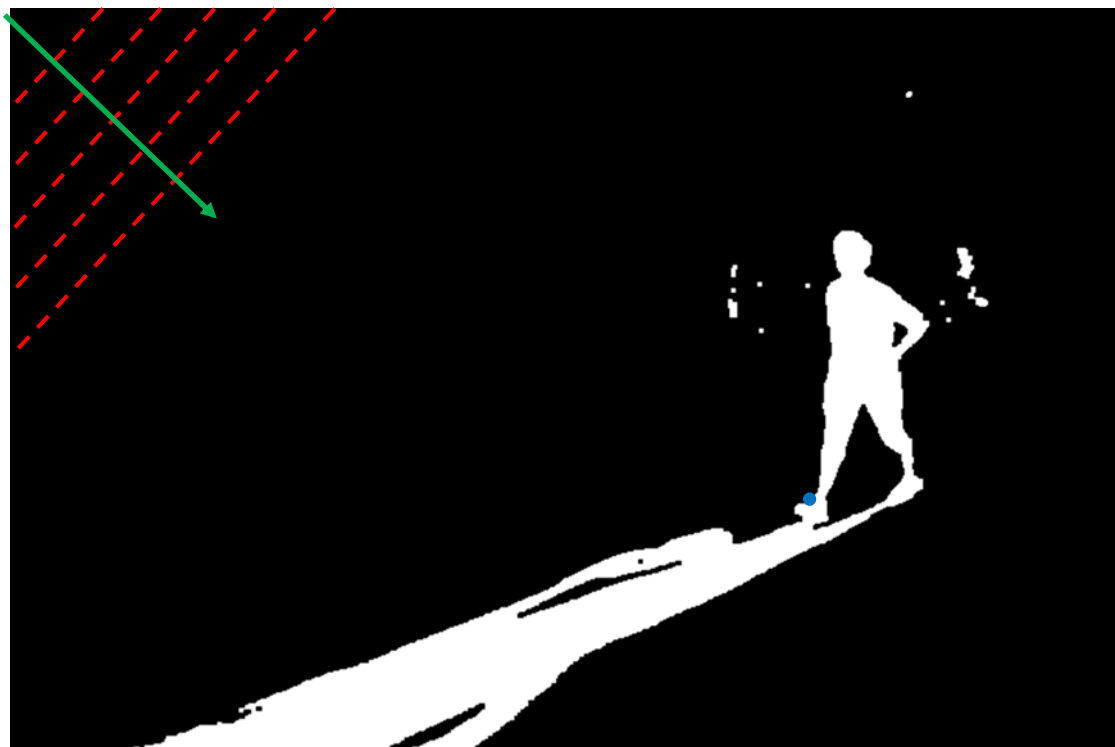


圖 3.10 利用掃描線偵測前腳腳背位置（紅色虛線為 45° 之掃描線，綠色實線為掃描線執行掃描的順序，藍色圓點表示利用此掃描線獲得之前腳腳背）

利用 45° 掃描線及其兩種順序逐線掃描的方式已能偵測出後腳腳跟及前腳腳背的位置，而偵測此兩位置的目的是為了並挑選出位置較低的點當作人類外接矩形的底邊界。我們視此底邊界以下的前景像素點為人影，因此在更新高斯模型的時候不會為前景影子的部分建立一個新的高斯分佈，即不將影子建入背景模型中。除此之外，我們在事後欲提供前景外接矩形的資訊，該外接矩形亦不考慮影子的部分，如此才能獲得較理想之人物偵測結果。圖 3.11 為掃描線搜尋前、後腳之結果，此時前腳為右腳。圖 3.12 為行人行徑後立足腳交換之情況，此時前腳為左腳。圖 3.11 與圖 3.12 中綠點為後腳腳跟、藍點為前腳腳背、紅色線則為相對位置較低之前腳，其以下之區域皆視為影子並不建立新的高斯分佈。

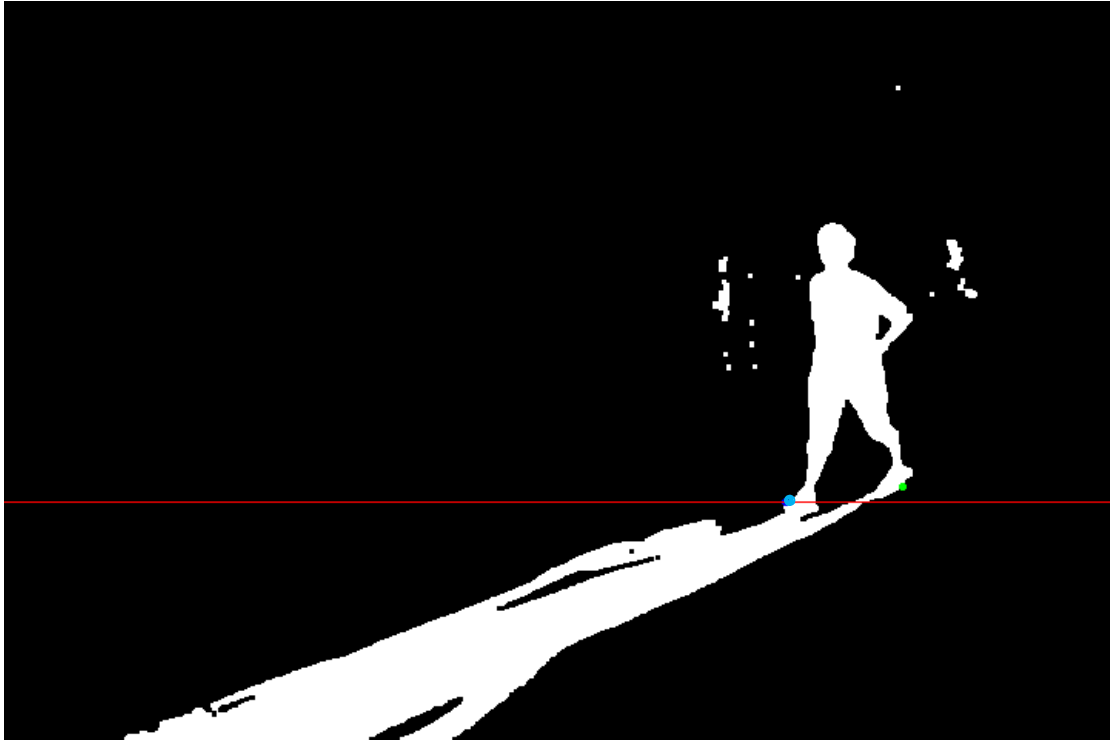


圖 3.11 利用掃描線尋找前、後腳位置，此時前腳為右腳（綠點：後腳腳跟、藍點：前腳腳背、紅線：人類外接矩形之底邊界）

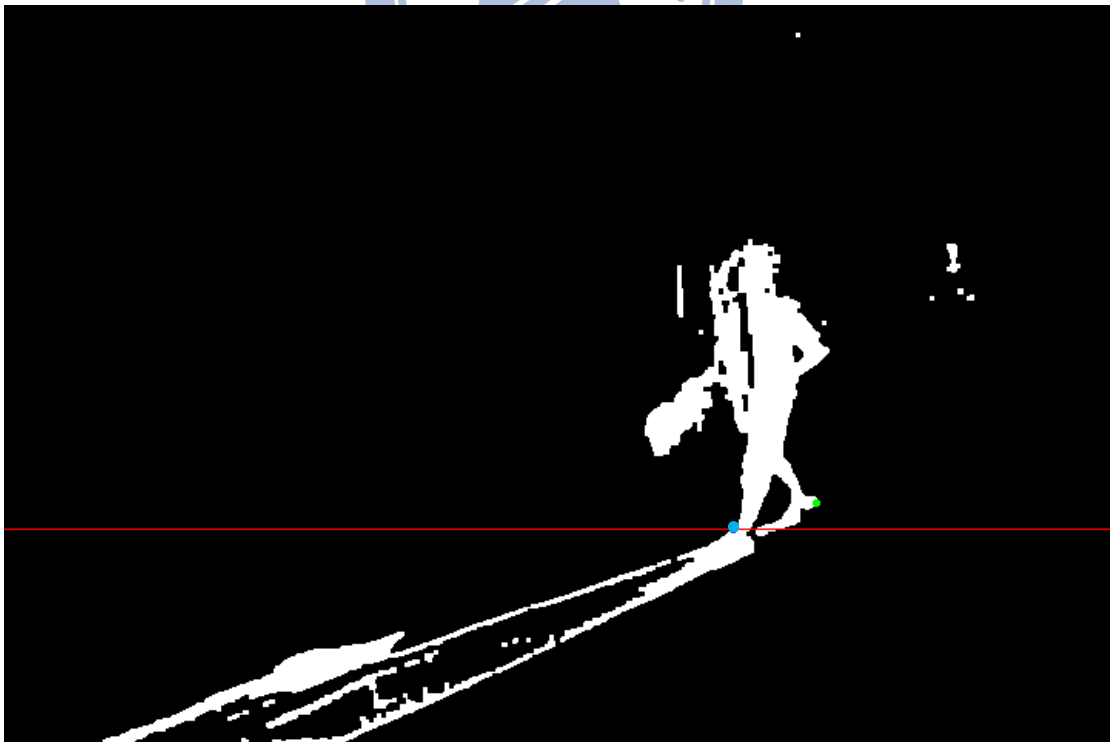
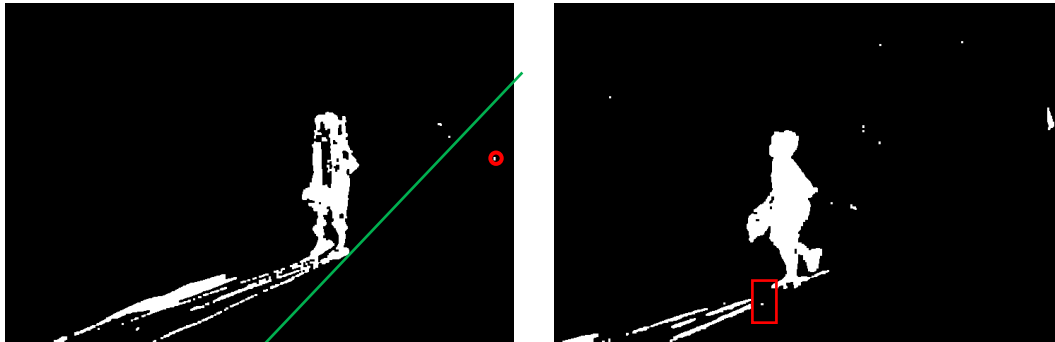


圖 3.12 利用掃描線尋找前、後腳位置，此時前腳為左腳（綠點：後腳腳跟、藍點：前腳腳背、紅線：人類外接矩形之底邊界）

利用掃描線獲得前、後腳位置之方法有兩個困難：一為雜訊區域會導致搜尋結果錯誤。如圖 3.13(a)所示，在掃描的過程中，由於紅色圓形內之雜訊點會比後腳腳跟所在之綠色掃描線還要早被掃描到，因此會將誤判此雜訊點為後腳腳跟；二為前景二質影像中破碎的前景區域也會導致搜尋結果錯誤。如圖 3.13(b)所示，由於紅色矩形內的前景破碎，造成掃描線無法順利地找到前腳腳背的位置。



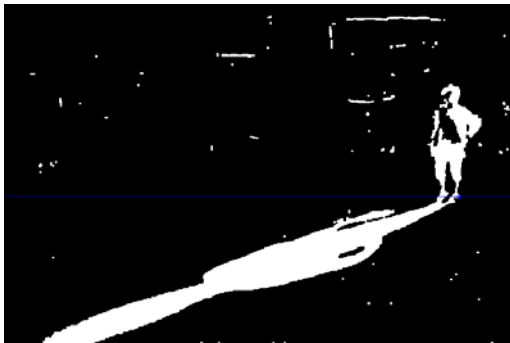
(a) 紅色圓形內之雜訊點造成掃描線誤判 (b) 破碎前景將造成掃描線誤判

圖 3.13 利用掃描線搜尋前、後腳偵測失敗的例子

首先，我們利用類似連通元件之概念解決雜訊區域之問題。每當掃描線搜尋到一個前景像素點時，我們會使用連通元件搜尋該像素點所形成之前景區域，並檢查其連通區域是否超過一定數量的掃描線。若是該連通區域擁有之掃描線數量超過系統設定的閾值，本系統設定為 15，則判斷該區域夠大足以當作有意義之前景，因此將搜尋到的前景像素點視為後腳腳跟，並停止繼續搜尋；反之，視此區域微小雜訊點，則不將搜尋到的前景像素點視為後腳腳跟，並繼續搜尋。

由於高斯混合模型可能會將部分人影更新為背景，因此造成人在行進的過程中人影區域會有破碎的情形，而圖 3.13(b)之破碎情況則發生於此狀況下導致偵測上的錯誤。本掃描線搜尋方式會將連續影像裡的前、後腳偵測出來，高斯混合模型在更新時不將其下方之影子部分更新為背景，所以若使用本掃描線偵測方式即不會產生前景破碎的情況，此問題也就不復存在。圖 3.14(a)(c)(e)(g)(i)分別是

為底邊界，因此視其下方之前景區域為影子並不更新至高斯混合模型之背景中。由圖 3.14 (e)(g)(i)皆可看出前景影子的部分已不再破碎，代表利用此方式確實不會將影子建入高斯背景。圖 3.14(b)(d)(f)(h)(j)分別為利用此掃描線定義底邊界後之前景外接矩形，並視極小面積之矩形為雜訊以濾除。



(a) 掃描線方式處理圖 3.13(b)之結果



(b) 利用(a)之底邊界框出外接矩形



(c) 掃描線方式處理圖 3.13(d)之結果



(d) 利用(c)之底邊界框出外接矩形



(e) 掃描線方式處理圖 3.13(f)之結果



(f) 利用(e)之底邊界框出外接矩形

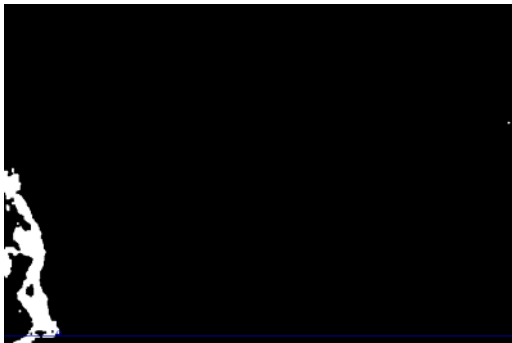
圖 3.14 利用掃描線方式重新定義前景區域之結果



(g) 掃描線方式處理圖 3.13(h)之結果



(h) 利用(g)之底邊界框出外接矩形



(i) 掃描線方式處理圖 3.13(j)之結果



(j) 利用(i)之底邊界框出外接矩形

圖 3.14 (續)



第四章 實驗結果與討論

本系統的輸入為夜間近紅外線影像，其主要輸出結果為雜訊濾除及人物偵測之結果。其中，我們使用時空域雙向濾波器進行影像之雜訊濾除，並使用高斯混合模型建構背景並進行夜間人物偵測，本章將討論此兩部分之結果。

4.1 以雙向濾波器進行雜訊濾除之實驗結果

使用近紅外線攝影機拍攝夜間影像時，若某一像素點所接收到的近紅外光強度大於攝影機所能容忍的最大強度，則該像素點之灰階值會有過飽和的情形，此情形下灰階值為最大值 255，即為白色。當拍攝之影像有大量像素點發生灰階值過飽和的情形時，我們無法從此過飽和區域取出影像之特徵；亦由於該過飽和區域為大量且連續的像素點，在此無特徵的區域中，我們亦無法透過一般灰階值線性調整之特徵突顯方式製造新的特徵。因為近紅外線攝影機所照射之近紅外光強度由其鏡頭周圍之發光二極體所控制，我們期望透過控制發光二極體數量來調整近紅外光的強度，並解決此像素點灰階值過飽和的情形。

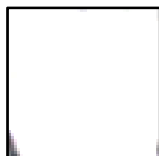
圖 4.1(a)為近紅外線攝影機拍攝得原影像，圖 4.1(b)為近紅外線攝影機關閉 12 個發光二極體所拍攝得影像，圖 4.1(c)(d)分別為圖 4.1(a)(b)中人臉（紅色矩形）區域的放大影像。我們分別計算圖 4.1(c)(d)內像素點的平均數、標準差、及 Sobel 梯度大小之平均值如表 1。其中，標準差表示其全域性(global)變化程度，而 Sobel 梯度大小之平均值表示其區域性(local)變化程度。經過控制近紅外光之照射強度後，不論是全域性或是區域性變化程度都較高，即可推論其影像畫面對比度較高。若探討整張影像，我們可以看出圖 4.1(a)的背景部分（綠色矩形）明顯較圖 4.1(b)清晰。因此，若要獲得不同距離之物體其清晰的影像，我們需要調整近紅外光照射強度，至於要使近距離物體清晰亦或是遠距離物體清晰則是一個抉擇(trade-off)，無法同時達成。



(a) 關閉 0 個發光二極體之影像



(b) 關閉 12 個發光二極體之影像



(c) (a) 人臉 (紅色矩形) 範圍之放大影像



(d) (b) 人臉 (紅色矩形) 範圍之放大影像

圖 4.1 藉由控制近紅外線攝影機之發光二極體數量取得高對比之臉部特徵影像

表 1 不同近紅外光強度的近紅外線影像之對比度比較表

	圖 4.1(c)	圖 4.1(d)
平均值	253.5	232.3
標準差	3.93	150.84
Sobel 梯度大小之平均值	6	113

我們以 Intel Core 2 Duo T7100 為中央處理器，其核心時脈速度為 1.80GHz，並搭配 2.00GB 的記憶體。作業系統為 Microsoft Windows XP Professional，而實驗軟體為 Microsoft Visual Studio 2005。在此環境下，使用時空域雙向濾波器作為雜訊濾除的方式。令實驗之影像畫面大小為 $M \times N$ ，濾波器之時間域鄰近區域大小為 S_1 ，空間域鄰近區域大小為 S_2 ，則處理一張影像需要 (MNS_1S_2) 。我們使用 720x480 的影像並設定 S_1 與 S_2 為 11 與 25，其執行效能為約 10 秒一個畫面。由於本雜訊濾除處理時，需要大量空間及時間鄰近點的計算，因此不適用於即時系統。然而，若使用者對於特定影像片段有興趣，此濾波器能提供較佳的視訊品質，但因需花費額外的運算，因此並非在錄製的過程中持續進行此雜訊濾除之處理。

4.2 以高斯混合模型進行人物偵測之實驗結果

本部分我們將以不同夜間監控場景為我們實驗的環境，並套用我們的人物偵測系統進行測試。首先以夜間室內環境亮度穩定之場景進行偵測，如圖 4.2 為一場景之實驗結果，取樣頻率為每 1.5 秒一次，圖 4.2(a)為純背景影像，於此實驗的過程中，行人外接矩形在第四次取樣（圖 4.2(d)）之偵測結果時受到地板反光之影響，而第五次取樣（圖 4.2(e)）之偵測結果受到牆壁反光的影像，其餘偵測結果的外接矩形皆穩定。

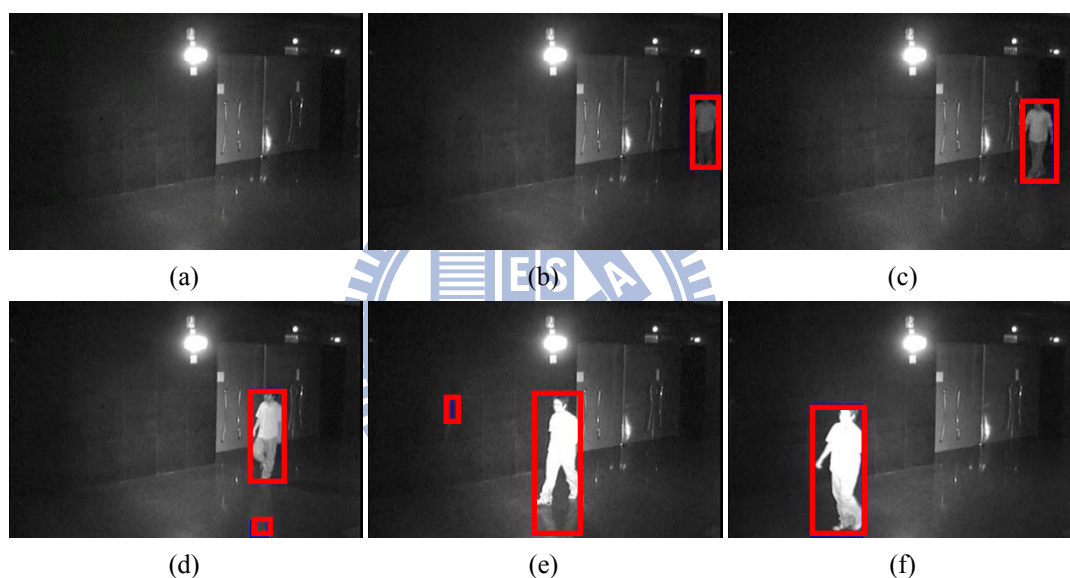


圖 4.2 高斯混合模型用於夜間室內環境亮度穩定之場景之前景偵測

首先，如圖 4.3 所示，我們先對同場景之近紅外光照射強度做調整後再進行多個前景之偵測且每 1.5 秒取樣一次，圖 4.3(a)是純背景之影像，由第四（圖 4.3(d)）、五（圖 4.3(e)）次取樣之偵測結果可知當前景物體於影像中無重疊（occlusion）時，本系統可正確地分割前景物體。如圖 4.3(b)(c)(f)，當前景物重疊時，本系統則會將兩個前景物體視為一個，至於如何正確地偵測並標示出重疊之前景物亦為未來的研究議題之一。

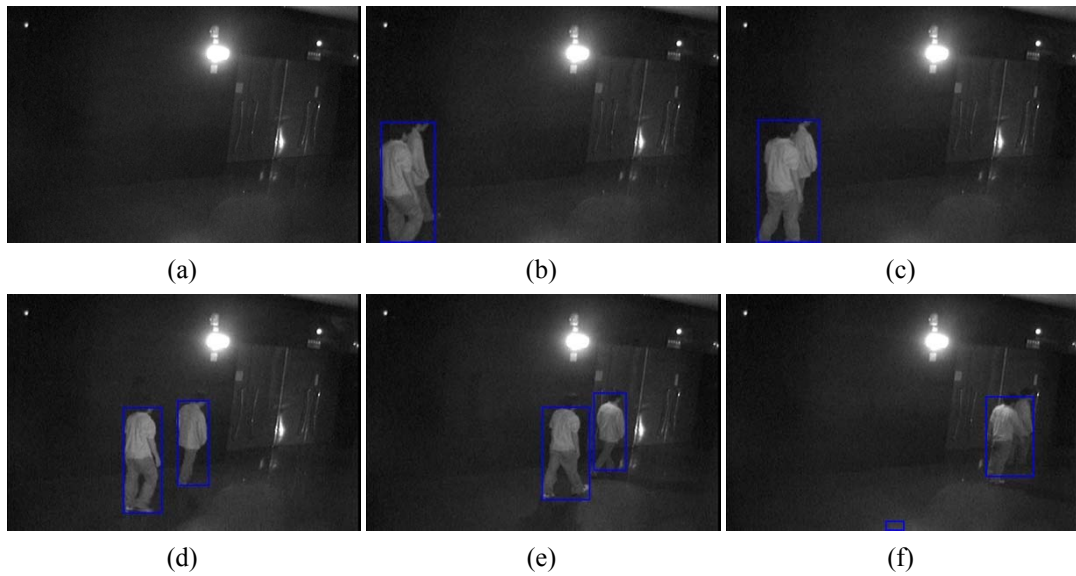


圖 4.3 高斯混合模型用於夜間室內環境亮度穩定之場景之複數前景偵測

其次，如圖 4.4 所示，我們對室內、外交接之場景進行本實驗之偵測且每 1.5 秒取樣一次，由第五次取樣（圖 4.4(e)）之偵測結果可知，前景與背景的灰階值相似會造成前景物體被切割破碎的情形，而如何對外接矩形之不理想結果進行修復亦為未來一個值得研究的議題。

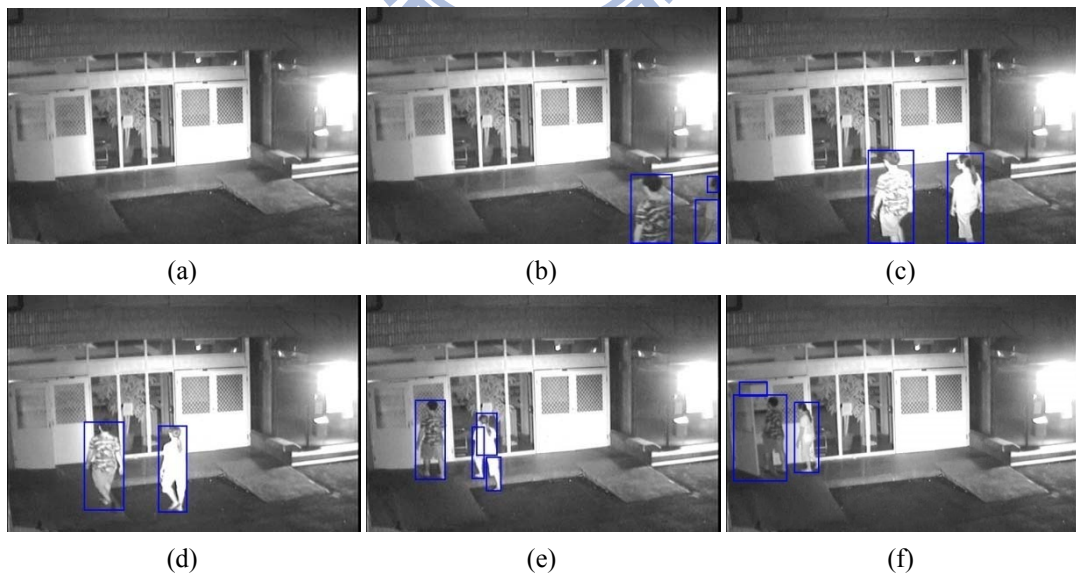


圖 4.4 高斯混合模型用於夜間室內、外交接口環境之場景之複數前景偵測

接著，如圖 4.5 所示，我們對室外場景作實驗測試並在前景物出現後之每 1.5 秒取樣一次。其中第六次取樣（圖 4.5(f)）之偵測結果因為前景與背景的灰階值幾乎相同，因此造成前景偵測產生破碎的情形，此問題主要是因為近紅外線攝影機在擷取影像時，其所接收之近紅外光超過一定強度時，畫面即呈現泛白情形，沒有辦法透過自動白平衡、自動曝光獲得較之影像。



圖 4.5 高斯混合模型用於夜間室外場景之前景偵測

最後，如圖 4.6 所示，我們對使用雙模式高斯混合模型於感應式照明環境進行人物偵測並擷取其中六張偵測結果影像。其中，圖 4.6(b)(c)(d)為感應式照明燈關閉情形下的偵測結果，圖 4.6(e)(f)為感應式照明燈開啟情況下的偵測結果。原本的高斯混合模型無法處理光源迅速變化的環境（如圖 4.6(d)至圖 4.6(e)），經過我們的方法處理後確實能夠得到較理想的偵測結果。除此之外，如圖 4.6(e)(f)，我們使用掃描線濾除人影的方法，確實能使我們的系統得到理想且不包含陰影的人類外接矩形。最後，我們將人影資訊回饋至雙模式高斯混合模型，系統在更新背景時才不會學得錯誤的背景資訊。

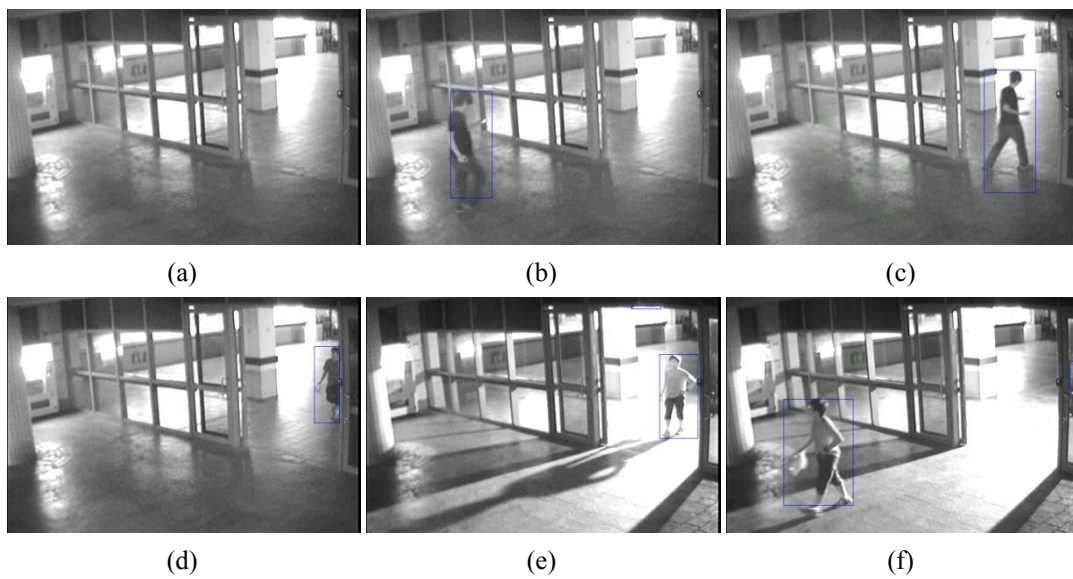


圖 4.6 雙模式高斯混合模型用於感應式照明環境之前景偵測



第五章 結論與未來工作

在本篇論文中，我們針對夜間環境下之近紅外線影像作處理，主要利用時空域雙向濾波器進行雜訊濾除以及高斯混合模型進行前景偵測。近紅外線影像之畫面常會有雜訊點，造成影片播放時背景影像不穩定。本研究使用的雙向濾波器能改善此雜訊強烈的情形，並增加使用者觀看影片的舒適感，以及系統人物偵測的穩定性。除此之外，本研究之雙模式高斯混合模型除了能對一般夜間環境進行人物偵測外，亦特別針對感應式照明設備環境進行處理，我們透過照明設施開、關的偵測進行背景模式的切換。由於開燈環境下，物體之光影現象更為強烈，本研究亦提出掃描線偵測人類立足點的方式濾除人物的影子。因此，即使在環境光源驟變且前景物體影子強烈的情況下，本系統亦能偵測出理想的前景外接矩形。

雙向濾波器能改善雜訊強烈的情形，但是需要耗費大量的運算時間。若要將此雜訊濾除方式以軟體的形式執行，將無法應用於即時系統中。然而，近紅外線影像之雜訊較一般影像嚴重，部分使用者會期望能有更加的視訊品質，因此即使本雜訊濾除方式適用於非即時系統，提供使用者較清晰與穩定之影像還是有其存在的必要性。由於雙向濾波器處理過程中，其輸入與輸出的資訊可平行化程度極高，因此可平行地進行每一個像素點之處理，未來若能將本濾波器以圖形處理單元（Graphics processing unit）的方式平行化處理，則可用於即時系統中。此外，利用時空域雙向濾波器進行雜訊濾除時，其所參考的空間鄰近像素點數量為一個預設值，然而，使用固定大小之空間區域作運算，其結果容易受影像區塊（segmentation）影響。未來若能先將一張純背景影像依其內容進行影像區塊切割，再依其切割結果分析並制定空間域雙向濾波器內每一個像素點之鄰近區域的大小，其雜訊濾除的結果將更為顯著，至於如何依切割結果制定此大小亦是一個值得研究的議題。

本系統之高斯混合模型只對前景物體進行偵測並標記出外接矩形，然而由於

近紅外線影像只有灰階值資訊，其資訊量過少有時會造成系統的誤判，因此如何將系統偵測出的外接矩形建立軌跡，依各外接矩形之資訊作時間關係的連結並最適化亦是另一個未來研究的方向。除此之外，本研究之雙模式高斯混合模型之陰影濾除的方式係利用掃描線偵測人類立足點，然而，此方式卻有陰影角度、前景物數目的限制，並有機會受到雜訊之前景區域的干擾。若要增進本系統之通用性，則必須將角度及人數的限制解決並設法對雜訊影響的問題加以改善。



附錄一 雙向濾波器之參數探討

空間及時間域雙向濾波器皆有三個參數：鄰近區域大小 $|N_x|$ 、距離特性之高斯分佈函式變異數 σ_D 、及灰階值差異特性之高斯分佈函式變異數 σ_I 。本附錄將分別介紹空間及時間域雙向濾波器的參數意義及其討論其設定之結果。

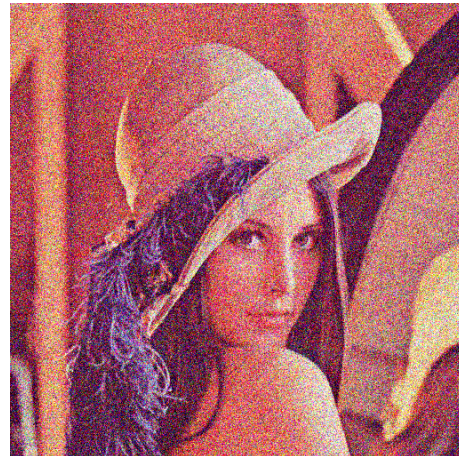
我們以蕾娜影像加入高斯雜訊為實驗影像，如圖 A(a)為蕾娜原始影像，圖 A(b)為蕾娜原始影像加入標準差為 1 之高斯雜訊的雜訊影像。接著，我們使用各種參數設定之雙向濾波器處理之結果影像計算其高峰訊號雜訊比 (Peak-signal-to-noise ratio, PSNR) 觀測其雜訊濾除之效果

$$\text{PSNR} = 10 \times \log \left(\frac{255^2}{\text{MSE}} \right) \quad (\text{A.1})$$
$$\text{MSE} = \frac{\sum_{n=1}^N (I_n - P_n)^2}{N} \quad (\text{A.2})$$

其中， I_n 及 P_n 分別代表原始影像及結果影像第 n 個像素點之灰階值， N 為像素點總數。



(a) 蕾娜原始影像



(b) 蕾娜雜訊影像 (PSNR=13.8549)

圖 A 蕾娜測試影像

空間域雙向濾波器之參數

空間域雙向濾波器的參數 $|N_x|$ 代表此濾波器處理 $|N_x|$ 之中心點 x 時，需納入加權平均計算的空間鄰近點數量，此數值影響此濾波器之效能最大。在其餘參數設定一樣的情況下對平滑區域作此濾波器之計算，若以加權平均的精神看來， $|N_x|$ 的數值越大會使參考資訊越多，得到的結果亦最客觀。然而，通常整張影像不會皆為平滑區域，且影像中通常不平滑區域佔大部分畫面。因此，使用過大的 $|N_x|$ ，不但容易參考到沒有參考價值之像素點，更會增加系統負荷。

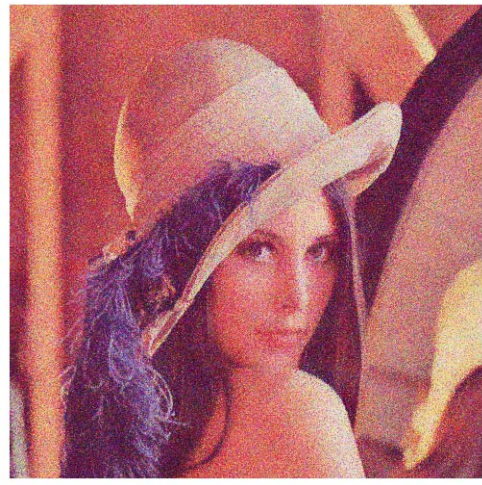
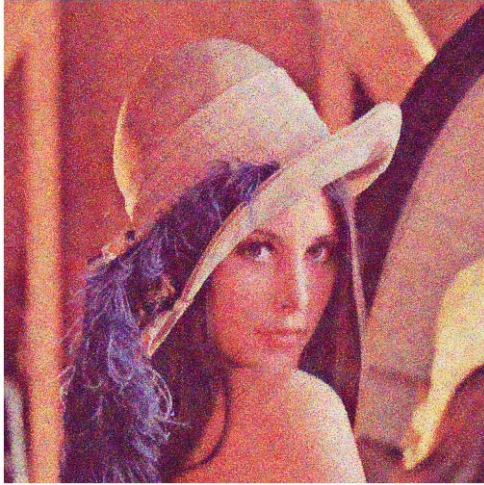
圖 B(a)為蕾娜雜訊影像，圖 B(b)(c)(d)分別的 $|N_x|$ 為 5×5 、 11×11 及 21×21 及其各自的 PSNR 值。由此結果可觀測出，使用 $|N_x| = 25$ 可以獲得較佳地濾除雜訊結果。若參考過多的鄰近點（如 $|N_x| = 121$ 或 441 ），則會考量到過多參考價值過低的像素點，導致其結果過度模糊畫，且 PSNR 值亦變差，因此我們系統的此參數設定為 25。



(a) 蕾娜雜訊影像 (PSNR=13.8549)

(b) $|N_x| = 25$ 之處理結果 (PSNR=19.9766)

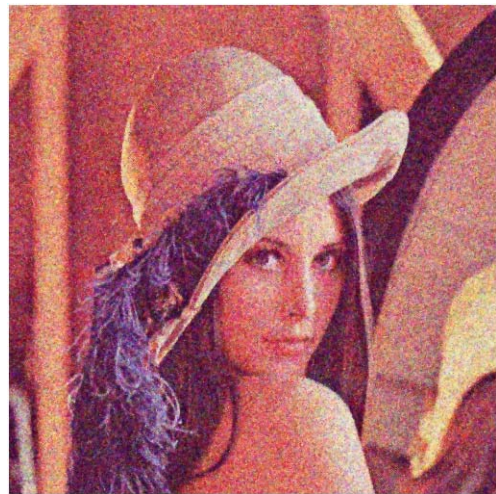
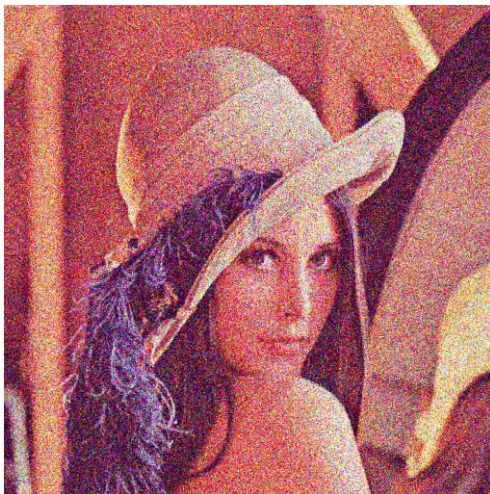
圖 B 空間域雙向濾波器之 $|N_x|$ 參數測試 ($\sigma_D = 10$ 、 $\sigma_I = 10$)



(c) $|N_x| = 121$ 之處理結果 (PSNR=17.7526) (d) $|N_x| = 441$ 之處理結果 (PSNR=15.3032)

圖 B (續)

空間域雙向濾波器的參數 σ_D 代表此濾波器中，其距離特性高斯分佈的變異數。在其餘參數設定一樣的情況下， σ_D 越大會讓距離中心點越遠的鄰近像素點擁有較高的相對權重，即提高鄰近像素點的參考價值。若 σ_D 設定的非常大且設定 $|N_x|$ 的很小，其所有鄰近像素點的權重將非常相近。圖 C(a)(b)(c) 為圖 A(b) 分別經過 σ_D 大小為 0.5、1.0 及 50 之空間域雙向濾波器處理的結果及其 PSNR 值，可觀測出其平滑的效果隨此參數越大而越強。



(a) $\sigma_D = 0.5$ 之處理結果 (PSNR=15.2367) (b) $\sigma_D = 1.0$ 之處理結果 (PSNR=18.6931)

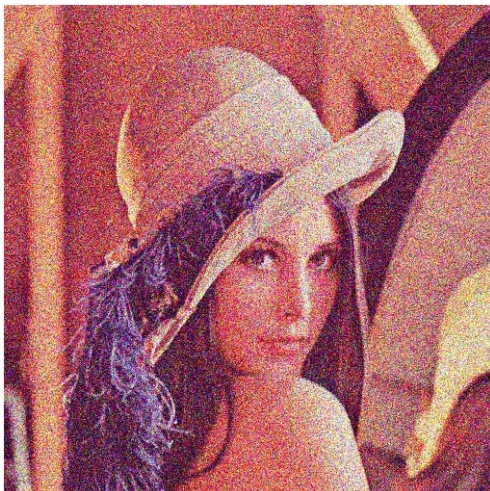
圖 C 空間域雙向濾波器之 σ_D 參數測試 ($|N_x|=25$ 、 $\sigma_I = 10$)



(c) $\sigma_D = 50$ 之處理結果 (PSNR=19.9820)

圖 C (續)

空間域雙向濾波器的參數 σ_I 代表此濾波器中，其灰階值差異特性高斯分佈的變異數。在其餘參數設定一樣的情況下， σ_I 越大會讓與中心點灰階值差異越大的鄰近像素點擁有較高的相對權重，因此，即使是不相似的鄰近點，其權重值衰減的速度較慢。圖 D(a)(b)(c)(d)為圖 A(b)分別經過 σ_I 大小為1、50及300之空間域雙向濾波器處理的結果及其PSNR值。



(a) $\sigma_I = 1$ 之處理結果 (PSNR=15.2367)



(b) $\sigma_I = 50$ 之處理結果 (PSNR=18.6931)

圖 D 空間域雙向濾波器之 σ_I 參數測試 ($|\mathbf{N}_x|=25$ 、 $\sigma_D = 10$)



(c) $\sigma_T = 300$ 之處理結果 (PSNR=19.9820)

圖 D (續)

時間域雙向濾波器之參數意義

時間域雙向濾波器的參數的意義與空間域雙向濾波器相同，不同之處在於所考慮之鄰近像素點為時間鄰近點。若背景在鄰近時間內皆呈現穩定沒有變化的狀況，因為列入加權平均計算的鄰近點都是穩定的，所以此濾波器會是一個理想的雜訊濾除方式。反之，當前景物體經過影像畫面時，則會因為鄰近時間點加權平均的計算而可能使背景物體透過前景物體產生鬼影現象。如圖 E(a)為連續影像中一原始影像，圖 E(b)則是經由時間域雙向濾波器處理之結果。由於人持續的在移動，因此紅色矩形中門柱的部分因在時間鄰近點中出現頻率高，因此造成前景人的身體上看得到部分門柱的殘影。



(a) 原始影像



(b) (a)經由時間域雙向濾波器處理之結果

圖 E 時間域雙向濾波器之殘影現象

參考文獻

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing* 2nd ed., Prentice Hall, pp. 75-219.
- [2] P. Perona and J. Malik, "Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 629-639, 1990.
- [3] L. Rubin, S. Osher, and E. Fatemi, "Nonlinear Total Variation Based Noise Removal Algorithms," *Physica D*, pp. 259-268, 1992.
- [4] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral Filtering for Gray and Color Images," *Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Vision*, pp. 839-846, 1998.
- [5] A. Buades, B. Coll, and J. M. Morel, "A Non-Local Algorithm for Image Denoising," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 60-65, 2005.
- [6] C. Stauffer and W. E. L. Grimson, "Adaptive Background Mixture Models for Real-Time Tracking," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 246-252, 1999.
- [7] B. Wu and R. Nevatia, "Detection of Multiple, Partially Occluded Humans in a Single Image by Bayesian Combination of Edgelet Part Detectors," *Proceedings of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision*, vol. 1, pp. 90-97, 2005.
- [8] L. Andreone, F. Bellotti, A. D. Gloria, and R. Lauletta, "SVM-Based Pedestrian Recognition on Near-InfraRed Images," *Image and Signal Processing and Analysis*, pp. 274-278, 2005.
- [9] E. P. Bennett and L. McMillan, "Video Enhancement Using Per-Pixel Virtual Exposures," *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 845 – 852, 2005.
- [10] C. C. Liu, "A Vision-Based Embedded Traffic Monitoring System Applied to the CCTV Systems in Hsueh-Shan Tunnel," Master's Thesis, Dept. Electrical and Control Engineering, National Chiao Tung University, May, 2009.
- [11] R. Cucchiara, M. Piccardi, and A. Parti, "Detecting Moving Objects, Ghosts, and Shadows in Video Streams," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, pp. 1337-1342, 2003