

國立交通大學

電機資訊學院 資訊學程

碩士論文

一個實用的紅外線影像對比強化方法



A Practical Infrared Image Contrast Enhancement Method

研究生：王俊昌

指導教授：莊仁輝 教授

中華民國九十三年六月

一個實用的紅外線影像對比強化方法
A Practical Infrared Image Contrast Enhancement Method

研究生：王俊昌
指導教授：莊仁輝

Student : Chun-Chang Wang
Advisor : Jen-Hui Chuang

國立交通大學
電機資訊學院 資訊學程
碩士論文



A Thesis
Submitted to Degree Program of Electrical Engineering Computer
Science
College of Electrical Engineering and Computer Science
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Computer Science
June 2004
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年六月

一個實用的紅外線影像對比強化方法

學生：王俊昌

指導教授：莊仁輝 教授

國立交通大學電機資訊學院 資訊學程（研究所）碩士班

摘 要



由於紅外線的影像格式通常為 12 位元或 14 位元，而在視覺的觀測上都是使用 8 位元的格式，因此需要作位元壓縮（對比強化）來將 12 或 14 位元轉成 8 位元。本論文係針對紅外線影像的特性，提出一個避免因紅外線強度分佈多的物體擠壓強度分佈少的物體時，所發生的影像擠壓現象，以及避免溫度擴散模糊的現象，同時亦能降低雜訊的方法。此方法乃為針對 BOHP 與 HE 位元壓縮方法的缺點所做的改良，除改善影像處理效果外，亦考慮可縮短計算時間的硬體設計，以確保能應用在即時系統上。

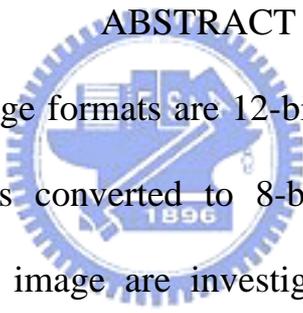
A Practical Infrared Image Contrast Enhancement Method

Student : Chun-Change Wang

Advisor : Jen-Hui Chuang

Degree Program of Electrical Engineering Computer Science
National Chiao Tung University

ABSTRACT



In general, infrared image formats are 12-bit or 14-bit. For visual inspection purposes, they are always converted to 8-bit video format. In this paper, characteristics of infrared image are investigated, and a method for format conversion that can avoid (1) destruction of image content due to intensity compression, (2) temperature diffusion effect, and (3) noise enhancement is proposed. This method can be regarded as an improvement over widely adopted BOHP and HE schemes. In addition to better image quality, real-time implementation issues are also considered.

誌 謝

首先要以最誠摯的謝意，感謝我的老婆敏惠這兩年來的鼓勵與付出，使我得以無後顧之憂的專心研究，同時我更要感謝我的指導老師莊仁輝教授，他懇切熱心的指導，讓本研究能順利完成。另外我要感謝實驗室的肇宏學長的指導與宇欣學弟的幫忙，讓本文不致結構鬆散、錯誤百出。

僅以此篇碩士論文獻給我親愛的家人，以及所有關心我的人，謝謝你們！



目	錄	
中文提要	.....	i
英文提要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	v
圖目錄	.....	vi
一、	緒論.....	1
二、	紅外線與影像攝影系統.....	2
2.1	簡述紅外線.....	2
2.2	紅外線的輻射波段.....	2
2.3	紅外線的大氣吸收窗區.....	3
2.4	紅外線攝影系統的組成.....	4
三、	現今紅外線攝影機常用的對比強化方法.....	5
3.1	Min-Max Contrast Stretch.....	5
3.2	HE(Histogram Equalization).....	7
3.3	BOHP(Binary Occupied Histogram Projection).....	9
四、	紅外線影像的特性與現象.....	12
五、	基於BOHP/HE的對比強化改良方法.....	15
5.1	BOHP/HE的優缺點.....	16
5.1.1	HE產生的雜訊與無法顯現細微溫度變化的缺點.....	17
5.1.2	BOHP產生的擠壓破壞現象.....	17
5.2	直方圖門檻的應用.....	21
5.3	BOHP與HE的平衡.....	24
5.4	以平均區域標準差為調整依據的進一步改良.....	29
六、	即時應用的考量.....	34
七、	實驗部份.....	38
八、	結論.....	45
參考文獻	.....	46
附錄	.....	47

表 目 錄

表 6.1	無浮點運算器的 CPU 執行時間比較表·····	37
表 6.2	有浮點運算器的 CPU 執行時間比較表·····	37
表 7.1	紅外線規格表·····	38
表 7.2	PC 規格表·····	38



圖目錄

圖 2.1	能量光譜分佈圖	3
圖 2.2	可見光與紅外線的吸收波帶	4
圖 2.3	紅外線攝影機的組成示意圖	4
圖 3.1	Min-Max contrast stretch	6
圖 3.2	Min-Max contrast stretch 浪費的區域	6
圖 3.3	HE 的動作示意圖	7
圖 3.4	HE 的程式列表	8
圖 3.5	HE 處理前後的比較圖	8
圖 3.6	BOHP 的動作示意圖	9
圖 3.7	BOHP 的程式列表	10
圖 3.8	BOHP 處理前後的比較圖	11
圖 4.1	均勻溫度畫面的雜訊	12
圖 4.2	強度分佈間斷的圖示	13
圖 4.3	溫度擴算的局部放大圖	13
圖 4.4	紅外線超過 256 階強度分佈的圖示	14
圖 5.1	經過 BOHP 處理後突顯溫度分佈清楚	17
圖 5.2	經過 HE 處理後溫度分佈較為模糊且強化雜訊	17
圖 5.3	未經過的擠壓破壞的原圖	18
圖 5.4	BOHP 的擠壓破壞的圖示 1	18
圖 5.5	BOHP 的擠壓破壞的圖示 2	19
圖 5.6	HE 不會有擠壓破壞的圖示 1	20
圖 5.7	HE 不會有擠壓破壞的圖示 2	20
圖 5.8	理想的平衡曲線	21
圖 5.9	最高門檻值的應用圖例	21
圖 5.10	最低門檻值的應用圖例	21
圖 5.11	門檻調整時的圖例 1	22
圖 5.12	門檻調整時的圖例 2	22
圖 5.13	門檻調整時的圖例 3	23
圖 5.14	門檻調整時的圖例 4	23
圖 5.15	建立位元壓縮對照表的總流程圖	26
圖 5.16	清除直方圖的流程圖	26
圖 5.17	建立直方圖的流程圖	26
圖 5.18	尋找強度分佈數量的流程圖	27
圖 5.19	門檻處理的流程圖	27
圖 5.20	建立位元壓縮對照表的流程圖	27
圖 5.21	本論文提出的方法之程式列表	28

圖 5.22	固定加權的圖 1	29
圖 5.23	固定加權的圖 2	29
圖 5.24	固定加權的圖 3	29
圖 5.25	未經過門檻加權前的結果圖	30
圖 5.26	調整門檻的流程圖	31
圖 5.27	標準差計算的程式	32
圖 5.28	經過門檻加權後的結果圖	33
圖 6.1	整數形態的小數點位元格式	35
圖 6.2	用浮點運算的原始程式片段	36
圖 6.3	改用固點運算的改良程式片段	36
圖 6.4	需要更新位元壓縮對照表的圖示	37
圖 7.1	畫面單調，強度分佈少的實驗	39
圖 7.2	畫面豐富，強度分佈多的實驗	40
圖 7.3	擠壓破壞的實驗	41
圖 7.4	細微溫度分辨的實驗	42
圖 7.5	室內場景的實驗	43
圖 7.6	室外場景的實驗	44



一、緒論

紅外線影像處理至今已經有著廣泛的應用，如軍事夜間作戰、保全、醫療、工業製程檢測及土木結構非破壞性檢測等等，其皆不脫與溫度的捕捉與分析有關。紅外線的影像是一個廣範圍的動態影像空間，目前大都為 12 位元的數位資料，另外，通常還會有一組 8 位元的視訊影像資料來接上監視器，或輸出至電腦螢幕上，供人員做視覺上的觀看或判斷。直接拿 12 位元的數位資料作分析不會有失真的情況發生，然則在 12 位元轉 8 位元的演算法上，基本上都會犧牲部分的資訊來到轉換成 8 位元的結果，在某些情況下甚至會讓某些物體的影像資訊消失，此現象在安全監控的應用上可能導致監控人員的誤判。在此本論文將針對此一現象提出一個有效的改良方法，使 12 位元轉換至 8 位元的過程當中，能有效的保留次要的資訊。



二、紅外線與影像攝影系統

紅外線攝影機可以使用於完全沒有光線的環境裡，與一般可見光攝影機不同的是，可見光攝影機捕捉到的是光線，紅外線攝影機捕捉到的卻是熱輻射。在這一章我們不但會對紅外線的特性與原理做概略的介紹，同時也會介紹紅外線攝影系統的組成元件。

2.1 紅外線

凡是絕對溫度不為零的物質都會自然的放射出輻射能量（熱能），這是因為物質皆為分子形成，而分子間的相互運動就會產生熱輻射，這些熱輻射是肉眼看不到的，可見光攝影機也拍攝不到，需要特殊的感測器才行。



2.2 紅外線的輻射波段

熱能釋出的多寡視物質的結構（材質）、溫度與周圍環境的輻射溫度而定。太陽的表面溫度約為 6000°K ，能輻射巨大的能量，光譜範圍涵蓋所有的紫外光帶、可見光帶與紅外光帶。其輻射能量的尖峰約發生在波長 $0.5\mu\text{m}$ 的位置，相當於綠色光的波長。因此，在白天照射於地球或由地球表面反射的最大尖峰能量是位於可見光帶內波長 $0.5\mu\text{m}$ 的位置。地球表面的平均溫度約為 300°K ，溫度所輻射的能量分佈於紅外光帶，形成一寬廣低平的曲線，其輻射能量的尖峰大約位於 $9.7\mu\text{m}$ 之處。圖 2.1 為輻射能量光譜分佈

圖，整個光譜中包括了Gamma射線、X光、紫外線、可見光、紅外線及微波等等，其中可見光的波段約在 0.4~0.7 μm 之間，而紅外線的波段定義並沒有很明確，大致上在 1~100 μm 之間我們都可以統稱為紅外線波段，在這範圍裡，紅外線攝影機使用的波段為 3~12 μm 之間。

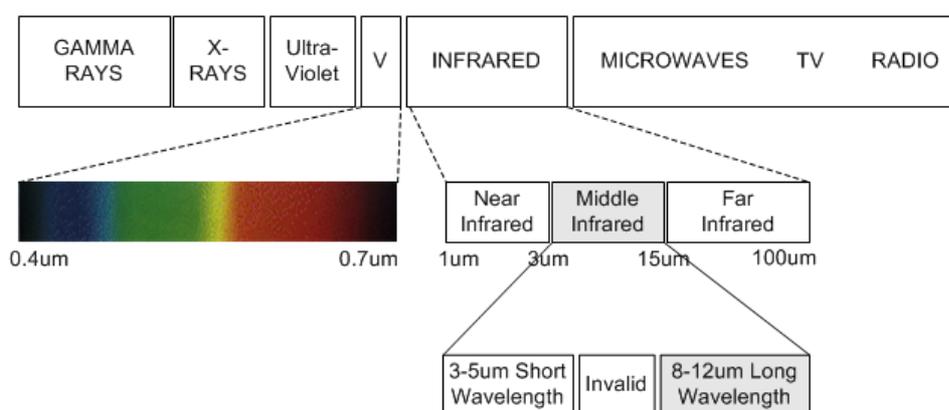


圖 2.1 能量光譜分佈圖

2.3 紅外線的大氣吸收窗區

電磁波產生輻射波衰減或吸收之一定波長的間隔稱為吸收波帶，每種氣體都有其個別的吸收波帶。相對的，在電磁波譜中有一些區域，其中的吸收與散射非常微弱，稱之為窗區，或稱大氣傳輸波帶。如圖 2.2 所示，一般而言紅外線在 3~5 μm 以及 8~12 μm 的範圍內，3~5 μm 為短波段，8~12 μm 為長波段，大氣的吸收率相當低，這個區域也稱為大氣窗區，目前紅外線感測器也大都採此波段為觀測波段。在 3~5 μm 窗口的輻射仍有部分衰減，主要是因為水蒸氣與二氧化碳的吸收，8~12 μm 的窗口範圍沒有水蒸氣與二

氧化碳的吸收，因此，此波段是最合適的波段，也是大多數紅外線攝影機所使用的波段，本研究的紅外線攝影機之性能規格也是以此窗口為主。

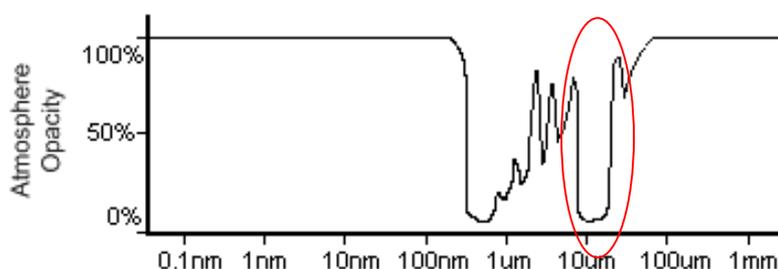


圖 2.2 可見光與紅外線的吸收波帶

2.4 紅外線攝影系統的組成

紅外線攝影機的組成主要分為 3~4 個部分，如圖 2.3 所示，第一個為鏡頭，其主要功能是濾掉紅外線以外的波長，僅讓紅外線波長的熱輻射通過。第二個為感測器，其主要功能是捕捉紅外線熱輻射，並將其轉成數位的資訊。第三個是後置處理電路，其主要功能是校正紅外線感測器的響應曲線與壞點修正。第四個部分通常與第三個部分是整合在一起的，其主要是做人機界面的控制處理（如遠端遙控、輸入儲存設備）與進一步的影像處理。

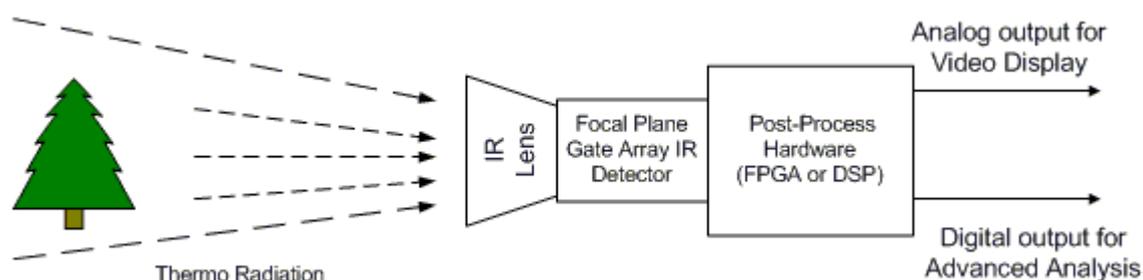


圖 2.3 紅外線攝影機的組成示意圖

三、現今紅外線攝影機常用的對比強化方法

紅外線熱輻射從感測器 (sensor) 成像後，溫度資料皆為 12 位元，範圍為 0~4095。0 代表絕對的最低強度 (或溫度)，4095 代表絕對的最高強度，我們在一般黑白的顯示器所採用的 RS-170 訊號，或顯示在電腦螢幕上的黑白或彩色 (假顏色) 的 RGB 訊號，皆為 8 位元的視訊影像格式，其範圍為 0~255。在這裡，0 並不代表絕對的最低強度；反之，255 也不能代表絕對的最強強度，僅是該畫面裡最低與最高的強度。

資料格式需要轉換，主要是為了觀看與顯示之用途，並非用來做分析之用，然而，當原始的紅外線影像超過 256 階時，在轉換成 256 階的 8 位元影像時，勢必會犧牲部分的資訊，也會相對的影響畫面的真實性，因此轉換的方式有必要做一個全盤性的考量。

現今紅外線攝影機常用的對比強化方法通常有三個，第一個為 Min-max contrast stretch，第二個是 HE (Histogram Equalization)，第三個是 BOHP[1] (Binary Occupied Histogram Projection)。這三種方法各有優點，也是本論文提出改良方法之依據。

3.1 Min-Max contrast stretch

此方法在一般的 8 位元灰階影像處理時常常被提起與使用，其有快速

運算的優點與不需太多額外硬體支援的特性。在早期的紅外線攝影機裡，此演算法經常被拿來應用，工作原理相當簡單，只要將畫面裡最低與最高的強度找出來，然後線性的將所有的像素調適至 0~255 即可。

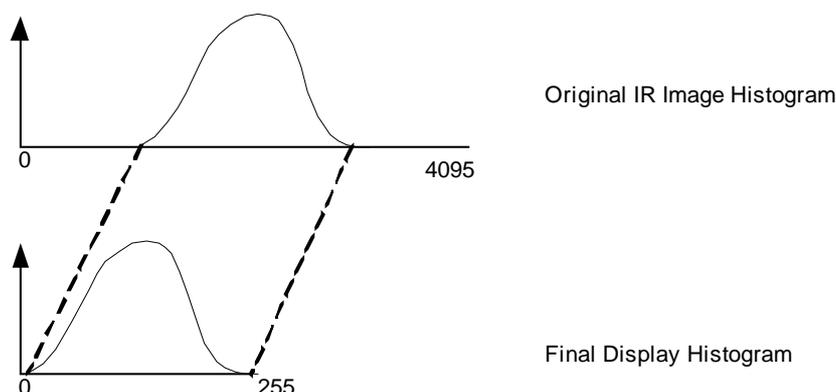


圖 3.1 Min-Max contrast stretch

此方法目前已經很少在使用，主要是因為無法解決強度分佈間斷的問題，如下圖 3.2 所示，若影像的強度分佈分成兩群，則中間的部分也會被考慮去，變成浪費的區域。

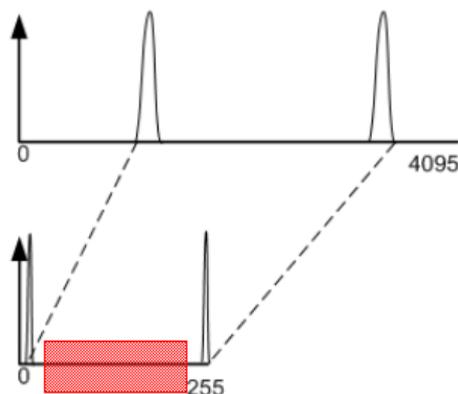


圖 3.2 浪費的區域

在強調溫度的應用上，Min-Max contrast stretch 的對比增強方法會是個不錯的選擇，比如說在工業的製程分析上，可以強調溫度的差異性。

3.2 Histogram Equalization

HE 可以說是影像處理中最常用到的強化影像方法，它強化對比的方式是將長條圖裡每個強度分佈的數量，依照整個畫面的比例，分配一個對照的新值，強調的是所謂的均勻分佈概念，如圖 3.4 所示。

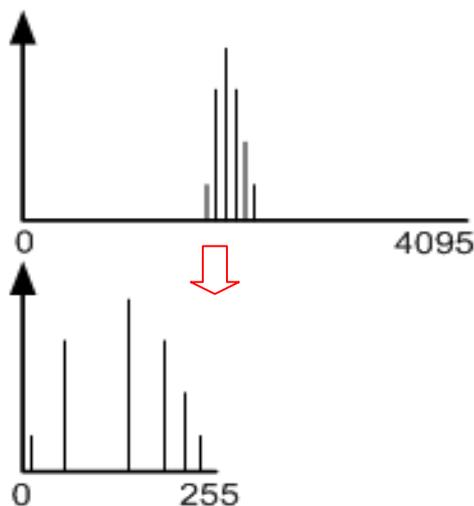


圖 3.3 HE 的動作示意圖

其與一般的 Histogram Equalization 不同的是，一般的影像處理都是強化 8 位元的影像對比，在此卻是將 12 位元轉換成 8 位元，其演算法如下：

- 先將畫面的紅外線 12 位元影像像素建立長條圖，以紀錄各種強度像素之數量，最多會有 4096 個強度分佈。
- 計算出每個強度分佈的像素數量相對於整個畫面的比例，並且加以累計計算，最後的比例值會是 1。
- 從強度分佈欄位 0 開始掃描至欄位 4095，遇到強度分佈欄位有像素存在時，將該強度分佈欄位佔有的比例乘以 255，最後一個強度分佈欄位的值會等於 255。

- D. 該新建立完成的強度分佈表，即為 12 位元轉 8 位元的轉換對照表。
- E. 最後將原本 12 位元的紅外線影像重新對照出一個新的 8 位元影像出來，此即為我們要看的視訊訊號。

依上述的步驟，我們將其轉成 C 語言，其程式部分如下：

```
// clear histogram
for(i=0; i<4096; i++)
    histo[i] = 0;
// build histogram
for(i=0; i<320*240; i++)
    histo[img[i]]++;
// build histogram equalization lookup table
gray = 0;
for(i=0,opy=0; i<4096; i++)
{
    gray = gray + (histo[i]/76800)*255;
    histo[i] = gray;
}
```

圖 3.4 HE 程式列表

接著透過上述的程式，我們實地的做個實驗，利用 HE 對比強化的處理，與原本紅外線影像做比較，可以發現 HE 確實是一個不錯的對比增強方法，圖 3.3 即為經過 HE 處理後的結果。



圖 3.5 左邊為原始的紅外線影像，圖中為一輛汽車，右邊為經過 HE 處理後的結果

3.3 Binary Occupied Histogram Projection

BOHP 是一種利用直方圖追蹤寬廣範圍的紅外線影像強度變化，並且可有效抑制紅外線的雜訊，是目前業界廣泛使用的演算法，該演算法目前已經申請美國專利。該演算法的優點除計算快速外，另外也可以解決 Min-max contrast stretch 無法解決的強度分佈間斷問題。圖 3.4 為 BOHP 的動作示意圖，其主要計算方式為統計強度分佈的數量，然後平均分配至 256 個灰階，BOHP 的演算法如下：

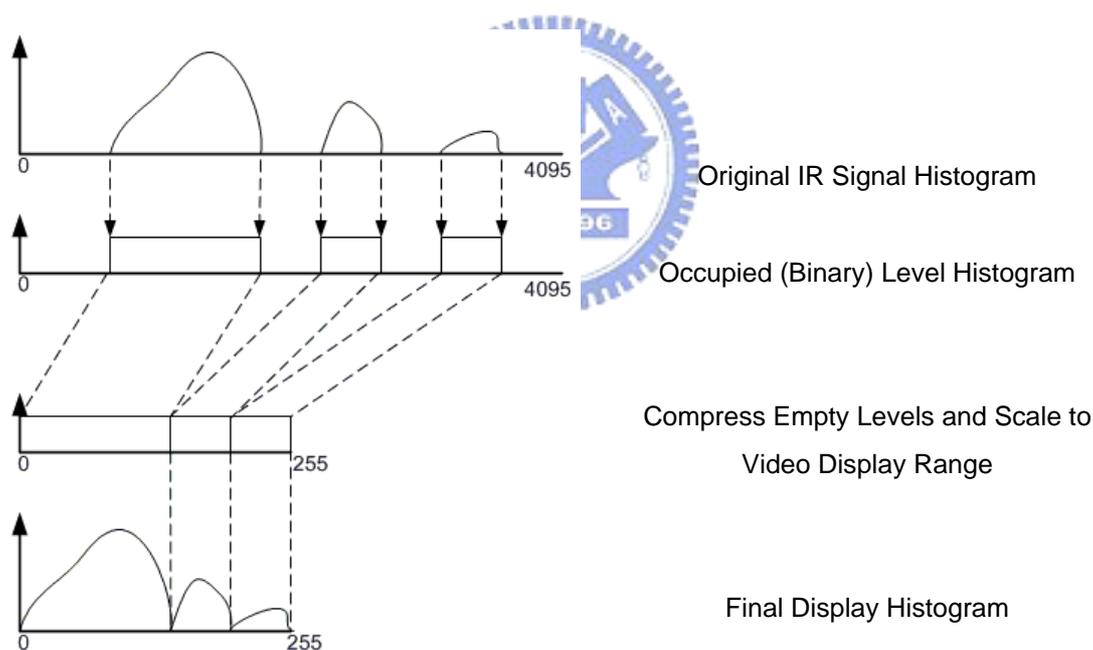


圖 3.6 BOHP 的動作示意圖

- 先將畫面的紅外線 12 位元影像像素建立長條圖，以紀錄各種強度的像素數量，最多會有 4096 個強度分佈。
- 檢查每個強度分佈的欄位 (entry)，遇到欄位有像素存在，則強度分佈

- 總數加一，並且將該強度分佈總數回填於該欄位。
- C. 接下來開始進行強度分佈的壓縮，壓縮方式為 255 除以強度分佈的總數，當作我們的調整參數，然後將直方圖的每個編號乘上該調整的參數。
 - D. 新建立完成的強度分佈表，即為 12 位元轉 8 位元的轉換對照表。
 - E. 最後將原本 12 位元的紅外線影像重新對照出一個新的 8 位元影像出來，此即為我們要看的視訊訊號。

依上面的步驟，我們試著寫成 C 的程式來實作看看，圖 3.5 即為改寫後程

式碼



```
// clear histogram
for(i=0; i<4096; i++)
    histo[i] = 0;
// build histogram
for(i=0; i<320*240; i++)
    histo[img[i]]++;
for(i=0,opy=0; i<4096; i++)
{ histo[i] = opy;
  if(histo[i]!=0)
    opy++;
}
// build lookup table
f = 255.0/opy;
for(i=0; i<4096; i++)
    histo[i] = histo[i]*f;
```

圖 3.7 BOHP 的程式列表

同時，我們做個 BOHP 的效果實驗，在下圖 3.6 為將原始紅外線影像經過 BOHP 處理後的圖例，發現 BOHP 的確可以有不錯的對比增強效果。



圖 3.8 左邊為原始的紅外線影像，圖中為一輛汽車，右邊為經過 BOHP 處理後的結果



四、紅外線影像的特性與現象

紅外線影像有幾個特色，在這一章將分別做個概略的介紹與說明，從特色當中我們可以發現 BOHP 與 HE 的優缺點與適用性，同時在下一章裡，我們試著從 BOHP 與 HE 優缺點當中找出可以改良的方法。

紅外線影像雜訊多

紅外線感測器的製程與技術並不如 CCD 感測器來的成熟，加上紅外線感測器的溫度響應曲線每個點幾乎都不同，因此雜訊對紅外線影像而言是個很大的問題，圖 4.1 是紅外線攝影機對著一個均勻溫度的表面所拍攝到的影像，可以發現影像的均勻度不是很好，約有 2~3 個位元的雜訊。

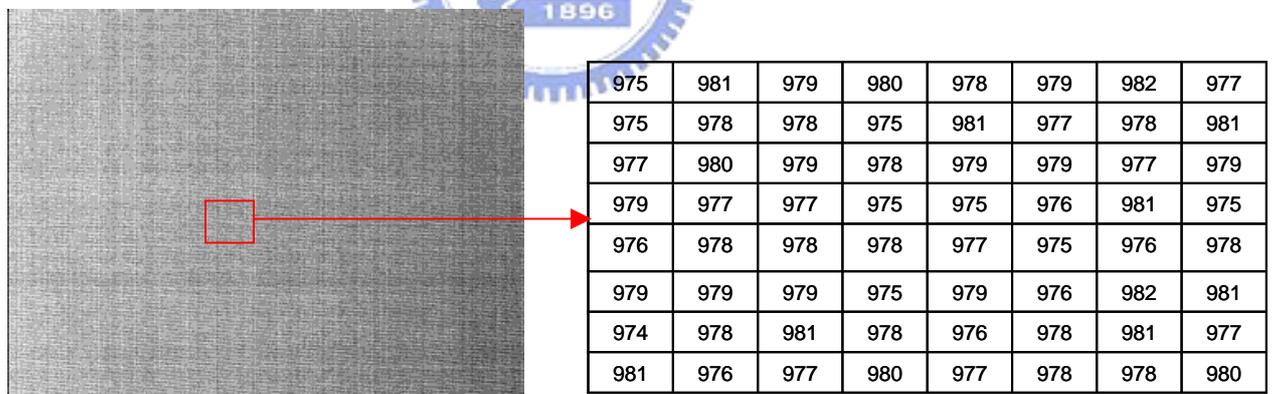


圖 4.1 均勻溫度畫面的雜訊

紅外線影像會有強度分佈間斷的現象

由於紅外線攝影機是捕捉物體的溫度而成像的，在不同場景的物體可能會有不同的溫度分佈，例如：在 26°C 的冷氣房裡站了一個人，人的體表

溫度為 32°C，因此，該紅外線影線的強度分佈，就會很清楚的發現有 6°C 的間隔。如圖 4.2 所示，人與背景的強度分佈明顯的有斷層，因此 Min-Max 的對比強化方法在此現象裡就不適用了。

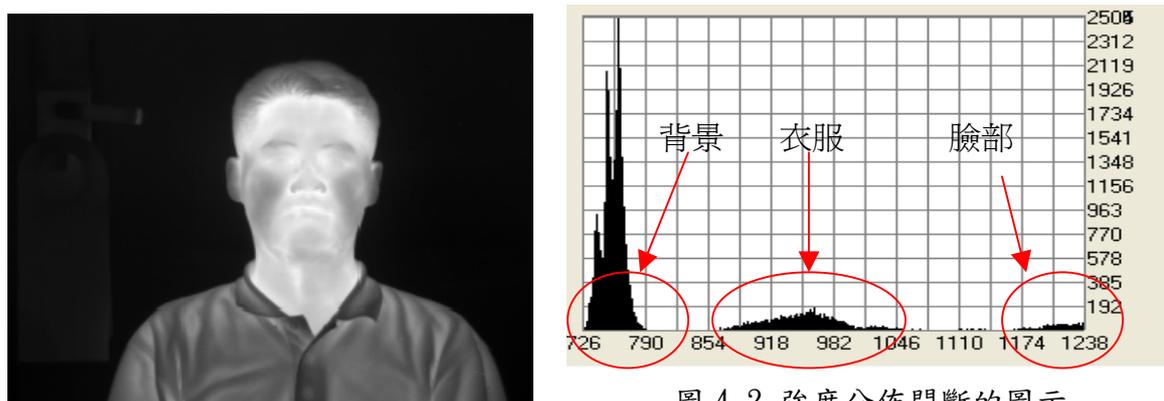


圖 4.2 強度分佈間斷的圖示

紅外線影像會有溫度擴散的現象

溫度擴散的問題，我們從圖 4.3 中可以清楚的看出來，手的周圍有一圈類似沒有聚焦的光暈，這是手的溫度與環境溫度的融合後的結果，這樣的結果會讓人體的影像模糊不清。由於溫度擴散是在物體的周圍，相對的也佔了畫面不小的比例，因此，若用 HE 演算法來強化對比反而會強化這樣的缺點。

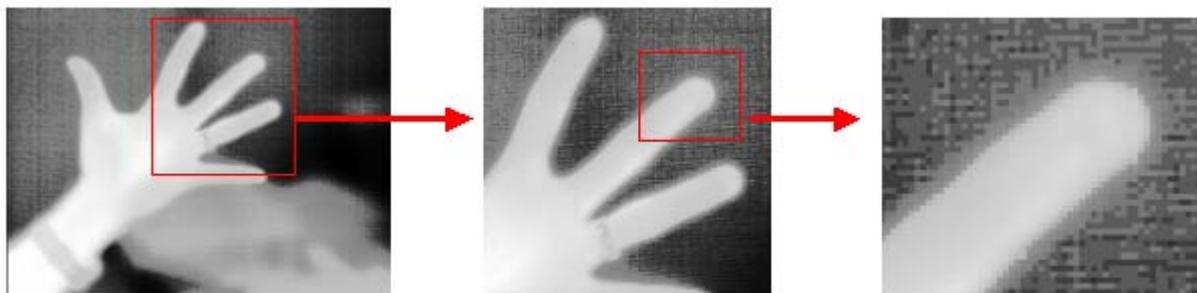


圖 4.3 溫度擴算的局部放大圖

紅外線影像的轉換會降低解析度

由於紅外線影像都是超過 8 位元的，為了顯示在螢幕上，必須轉換成 8 位元的視訊格式，在轉換的過程中，無可避免的會降低解析度，如圖 4.4 所示，原本 605 個強度分佈經過轉換後變成 256 個，因此喪失了 349 細節。

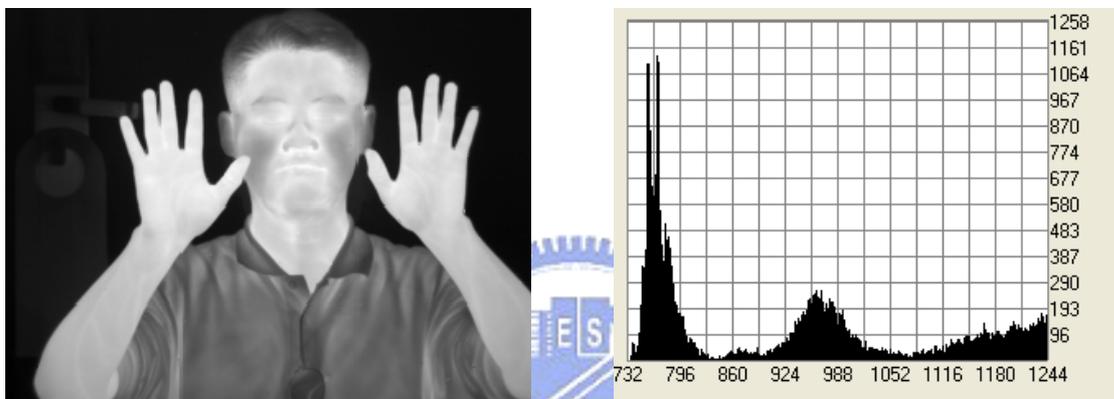


圖 4.4 紅外線超過 256 階強度分佈的圖，該圖的強度分佈共 605 個

五、基於 BOHP/HE 的對比強化改良方法

本研究的動機在於，紅外線的動態範圍相當廣，有 12 位元與 14 位元兩種，在產業界通常是 12 位元，我們實驗用的紅外線攝影機也是 12 位元的，因此本篇論文皆以 12 位元來處理。我們人類肉眼可分辨的灰階強度通常只有 6 位元到 7 位元之間，但標準上還是以 8 位元來顯示，因此，我們會需要將動態範圍格式作轉換，將 12 位元轉成 8 位元，這樣的轉換也可以具有對比強化的效果。

在業界紅外線的對比強化轉換皆是以 BOHP 為轉換方式，它會依影像中強度分佈的比例來進行壓縮，但紅外線的觀測通常是以人或高溫的物體為觀測對象，人或高溫物體所散發的熱輻射是相當多的，並不容易被其他物體或景物擠壓破壞，因此，觀測起來效果相當好。現今紅外線的運用越來越廣，觀測的目標也越來越多元，就以保全的運用來講，我們常常需要將整體環境列入考量，若背景被前景擠壓至看不見或看不清楚，則會發生誤判的情形。比如說原本有座門，但有人走進來後，門卻看不見了，這種情況可能導致保全人員的誤判。

在本論文中主要是以 HE 的演算法為基礎，並針對 BOHP 與 HE 的優缺點進行分析，提出一個改良的方法，以下我們將先針對 BOHP 與 HE 演算法做優缺點之分析。

5.1 BOHP 與 HE 的優缺點

BOHP 是一個相當好用的對比強化方式，但其仍有需要改進的地方，同時它也受到專利的保護，而 HE 是沒有專利保護的演算法，在此我們先針對 BOHP/HE 的優點與缺點做個簡述。

BOHP 的優點：

- A. 計算方法快速，最多僅需要 4096 次的乘法運算。
- B. 可消除影像強度分佈不連續的問題。
- C. 可有效降低座落於影像中的雜訊。

BOHP 的缺點：

BOHP 是以強度的多寡，來決定調整的參數，也就是說，強度佔得多的物體分配到的灰階 (gray level) 也比較多，但若有一物體其紅外線強度少，但畫面上其他物體佔的多，則該物體會被擠壓看不清楚甚至於看不見，在本論文後面會有擠壓破壞的相關問題討論。

HE 的優點：

- A. 計算方法快速，僅需要 4096 次的乘法與除法運算。
- B. 可忠實的表達影像在空間分佈的比例。

HE 的缺點：

- A. 畫面單調時，會將分佈於影像空間的雜訊強化出來。
- B. 不好強調溫度的細微變化情況。

5.1.1 HE 產生的雜訊與無法顯現細微溫度變化的缺點

HE 比較少應用在紅外線攝影機上，主要是紅外線感測器的平整度 (Uniformity) 不是很好，每個點對溫度的反應曲線皆不相同，且標準差亦很大，大約會有 2~4 個位元的雜訊。因此，紅外線影像在景物很單調時，就很容易突顯雜訊出來，這個雜訊問題在 BOHP 上能有效的改善。另外對於較大物體的細微溫度變化容易產生擴散現象，看起來會有類似沒有聚焦的現象。如下圖所示，經過 HE 與 BOHP 的後處理比較，在圖 5.1 部分，BOHP 處理後的溫度分佈較為清楚，而圖 5.2 部分，經過 HE 處理後的溫度分佈則較為模糊不清。



圖 5.1 經過 BOHP 處理後的圖，圖中的手溫度分佈清楚可見，且無雜訊。

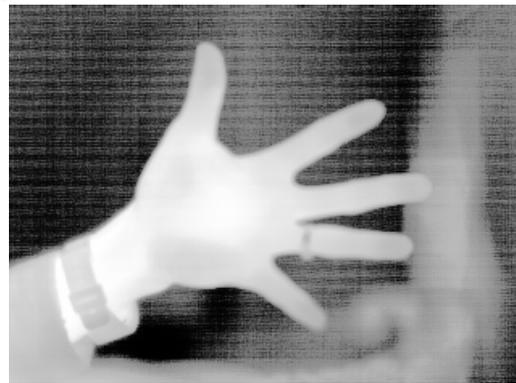


圖 5.2 經過 HE 處理後的圖，圖中的手溫度分佈較為模糊，且雜訊被強化出來。

5.1.2 BOHP 的擠壓破壞現象

BOHP 的擠壓破壞現象，只有在強度分佈超過 256 階時才有可能會發生，

主要是因為 BOHP 是以強度分佈數量為調整的依據，當兩個物體的強度分佈數量差異很大時，強度分佈多的物體即會擠壓強度分佈少的物體，我們先以下面這三張圖來看看 BOHP 的擠壓破壞現象，圖 5.3a 為原始圖片且經過 BOHP 處理後的結果，圖 5.3b 為該圖片的直方圖，共 65 個強度分佈，圖片中的儀器為訊號產生器。

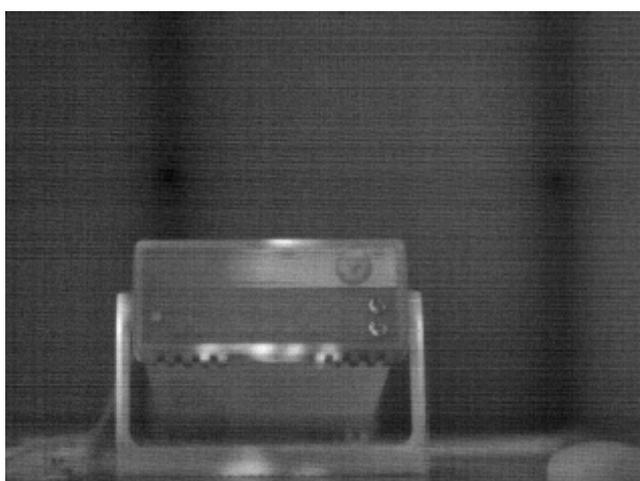


圖 5.3a

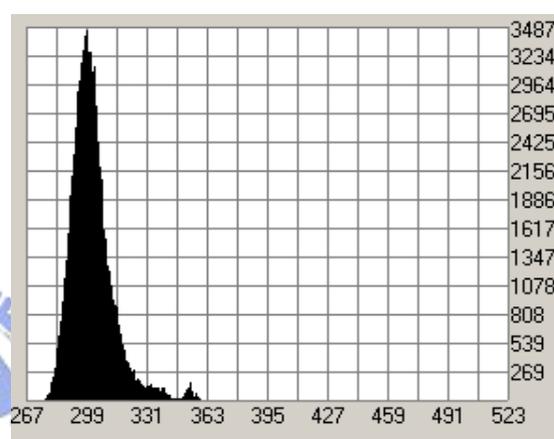


圖 5.3b

接下來的這一張圖為一個人在旁邊時的畫面，用以證明擠壓現象，圖 5.4a 是訊號產生器被擠壓的圖，圖 5.4b 為直方圖，強度分佈共 369 個，我們發現原本清楚可見的訊號產生器已經被擠壓得看不清楚了。

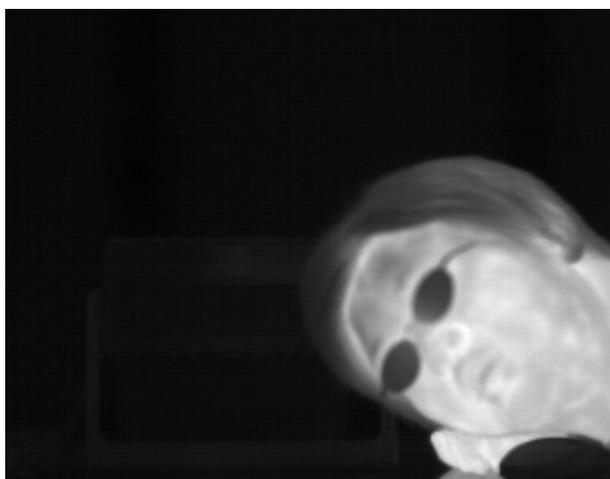


圖 5.4a

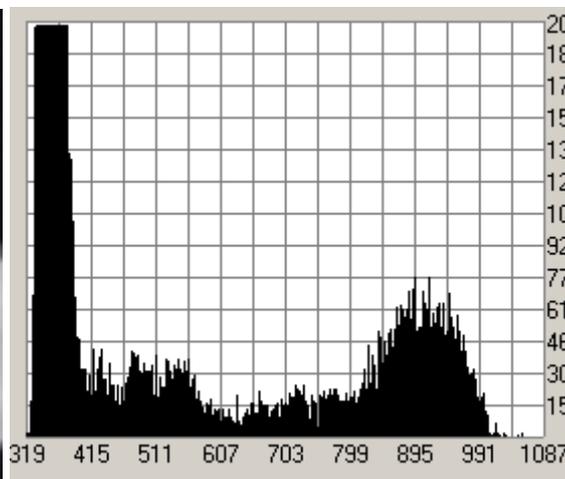


圖 5.4b

我們再將人改成一杯高溫的茶杯，圖 5.5(a)為高溫茶杯的圖片，5.5(b)為直方圖，其強度分佈共 391 個，同樣我們發現訊號產生器被擠壓的現象。

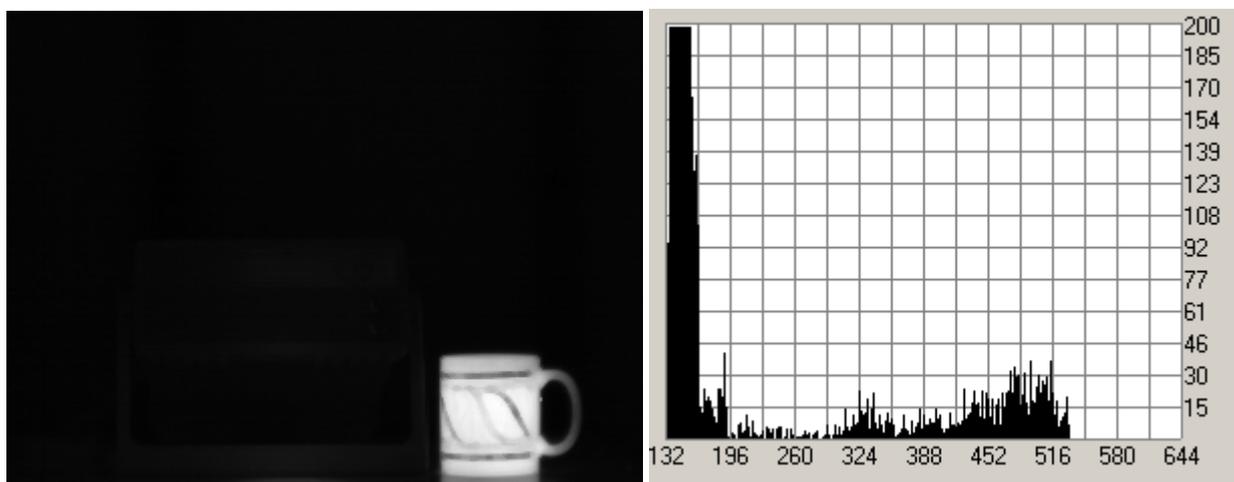


圖 5.5a

圖 5.5b

現象說明：

從圖 5.3 我們可以發現，訊號產生器的強度分佈範圍從 149~196 數量約為 47 強度分佈，在整張畫面 65 個強度分佈的比例中，約佔 72%，因此清楚可見。在圖 5.4 與圖 5.5 中，為何訊號產生器會幾乎看不見呢？是因為新近來的物體強度分佈的個數量都很大，圖 5.4 的人約佔 304 個強度分佈，圖 5.5 的茶杯約佔 326 個強度分佈，就以人的那張圖來講，訊號產生器在整個畫面的強度分佈所佔的比例只有 13%，因此分配到的灰階值只有 33 個，因此產生了看不清楚的狀況。

然則在 HE 的處理下，訊號產生器依然清楚可見，這是因為訊號產生器的大小約佔整個畫面的 25%，不管進來的是人頭或是茶杯，皆不會影響訊

號產生器所佔的灰階比例，因此不會被擠壓破壞，但也大大的強化了雜訊，HE 對於紅外線的對比強化應用並不是很好，主要在於雜訊問題與溫度擴散效應問題。由圖 5.6 與圖 5.7 來看，可以清楚的看到坐落於整張影像的雜訊被強化出來了，同時人與茶杯清楚可見的溫度漸層也被破壞，溫度漸層被破壞可以清楚的由茶杯的紋路看出來。

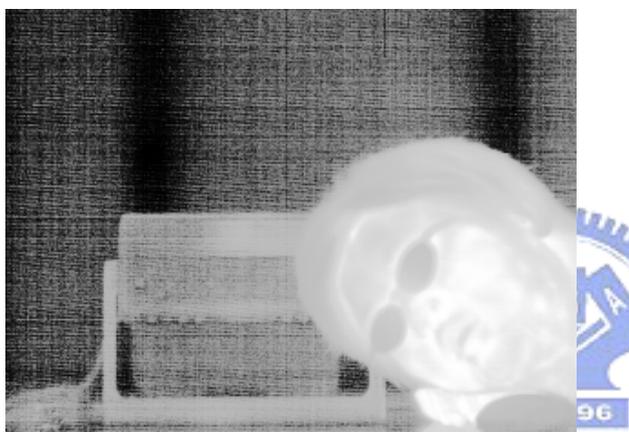


圖 5.6 經 HE 處理後的，訊號產生器並沒有被進來的人頭擠壓破壞

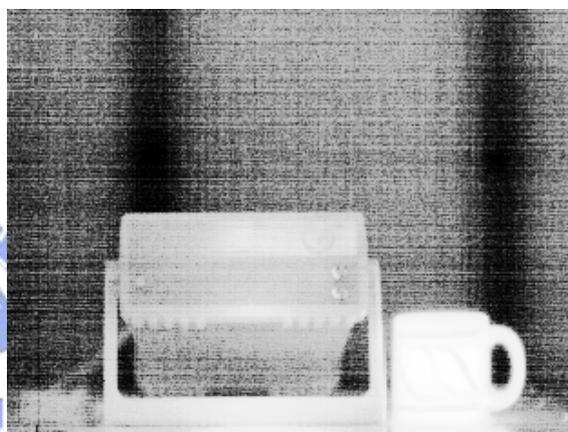


圖 5.7 經 HE 處理後的，訊號產生器並沒有被進來的熱茶杯擠壓破壞

問題關鍵：

由於 BOHP 的特性是以紅外線強度分佈範圍所佔的比例為壓縮依據，而 HE 是以各紅外線強度像素在影像空間佔的比例為壓縮依據。我們可以發現這兩種處理方式，存在互補性，如果我們可以找到一個接近平衡的方法，如圖 5.8 所示，相信不論在任何情況下的景像，我們仍然可以明顯的分辨物體，尤其在監控觀視的應用裏更為重要，因為我們不能忽視掉任何的景像或物體。

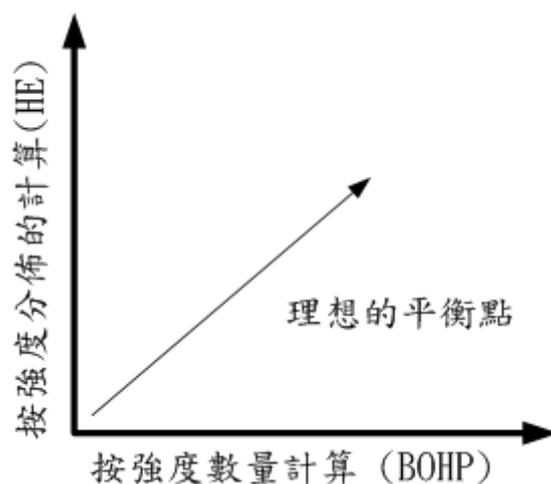


圖 5.8 理想的平衡圖

5.2 直方圖門檻(Histogram Threshold)的應用

HE 是以強度分佈內的像素數量當作調整的比例，也就是空間比例，因此如果我們在直方圖加上一個門檻，便可動態調整強度分佈的高度。為何我們要加上門檻？主要是為了降低 HE 帶來的雜訊，與溫度擴散效應，並想保有 HE 帶來的效果，因此加上強度分佈門檻的調整。

具體而言，強度分佈門檻調在最高點，就等於完全沒有砍掉，如圖 5.9 所示，效果如同使用 HE；另一方面，強度分佈門檻調若在最低點，如圖 5.10 所示，則其效果會如同使用 BOHP 一樣。

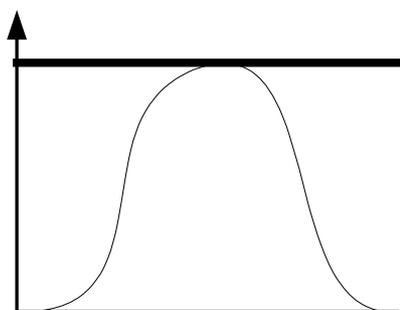


圖 5.9 最高門檻值

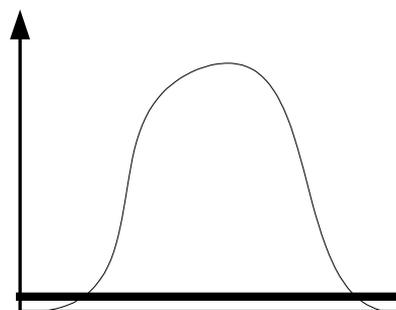


圖 5.10 最低門檻值

我們以下面的調整來說明加上門檻後的效果，圖 5.11 為沒有調整門檻後的結果，其效果等同於 HE，在這張圖裡，人與訊號產生器都清楚可見，但雜訊相當的高。

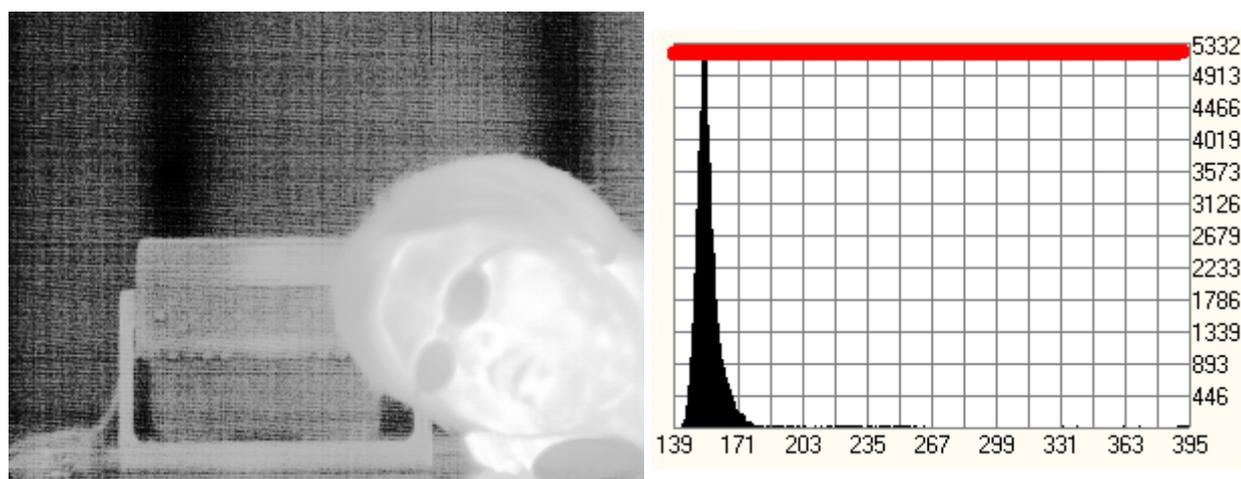


圖 5.11，門檻不調整時，效果等同於 HE

接著我們繼續往下調整門檻至 1/4 高度的地方，如圖 5.12 所示，我們發現雜訊降低了一些，物體與人也都還分辨得很清楚。

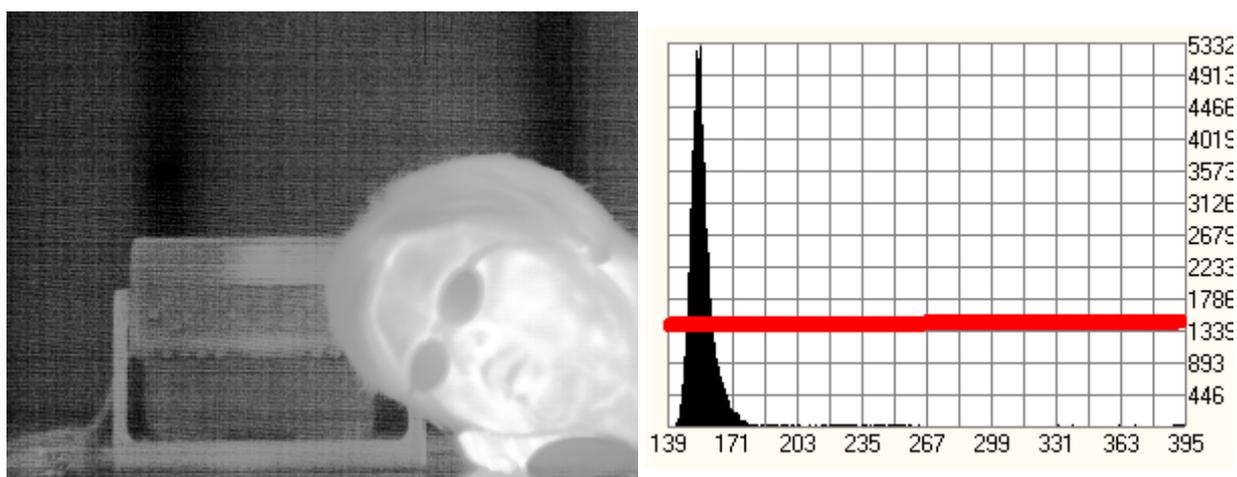


圖 5.12，門檻往下調整，效果漸佳

再往下調，將門檻調至 1/8 高度的結果，如圖 5.13 所示，發現在這個情況下雜訊不多，且物體與人也都還分辨得很清楚，可以說是最理想的位置。

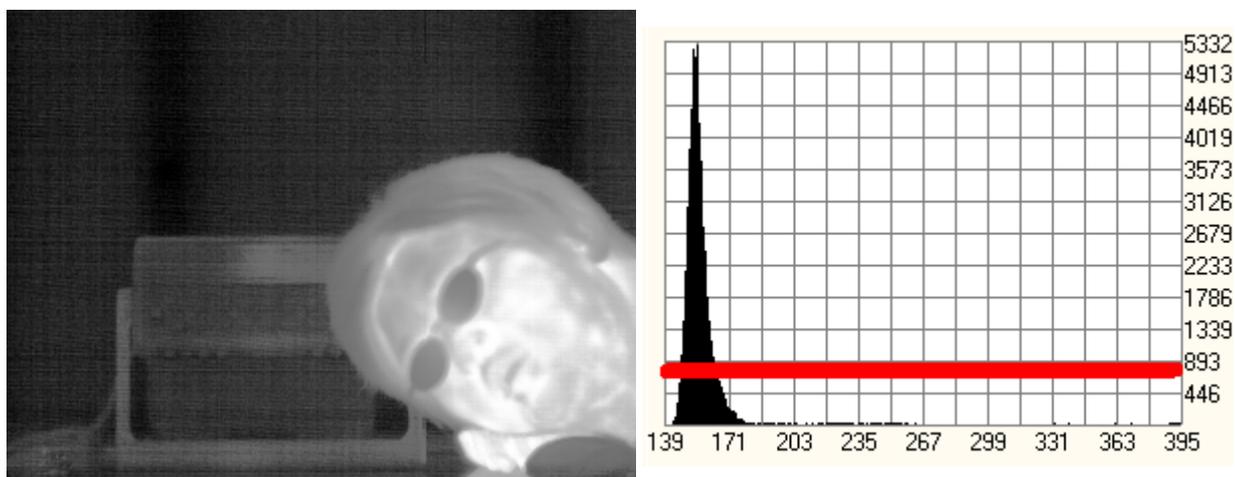


圖 5.13，調整門檻至 1/8 高度，本張影像中的最佳點



最後若我們將門檻調至最低，如圖 5.14 所示，其效果等同於 BOHP，此時訊號產生器已經很難辨識了。

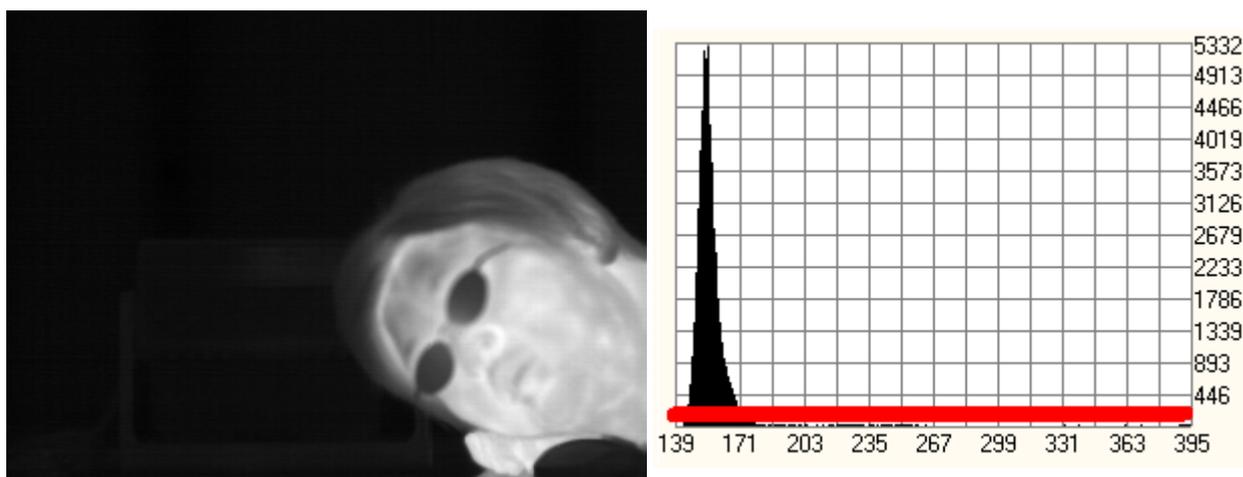


圖 5.14 門檻往下調至 1，效果等同於 BOHP，訊號產生器已模糊而不復見

我們發現，若能有個自動調整的依據，且該依據能將門檻調整至最佳點，則能改進 BOHP 的缺點。

5.3 BOHP 與 HE 的平衡

以直方圖的特性而言，當景像很單調時，直方圖的強度分佈必定很少呈現高峰值，也就是說某些強度分佈欄位裡的像素數量很高；反之，若景像很豐富時，直方圖的呈現形狀，必定較為平整，也就說大部分的強度分佈欄位裡的像素數量會比較低，且比較平均。由於 BOHP 的特性是以紅外線強度分佈範圍所佔的比例為壓縮依據，而 HE 是以各紅外線強度像素在影像空間佔的比例為壓縮依據。因此我們首先嘗試以畫面像素個數除上強度分佈的個數來作為自動達到動態調整的門檻值。

我們做這樣的嘗試主要依據在於平衡 BOHP 的演算法與 HE 的演算法，讓門檻值有個自動調整的標準，計算方式採用 HE 的計算方式，門檻的高度與整張影像的強度分佈多寡有關，整理後我們將步驟分成 9 個。

計算步驟：

- A. 先將畫面的紅外線 12 位元影像像素建立長條圖，該長條圖只是統計學上的長條圖而已，紀錄了每個紅外線強度的數量，最多 4096 個分佈。

- B. 計算出整個影像直方圖的強度分佈個數。
- C. 畫面像素個數除上強度分佈的個數即為門檻值。
- D. 砍掉所有超過該門檻值的強度分佈高度。
- E. 計算出砍掉後的像素總數，該數值必恆小於原先的影像像素總數。
- F. 從強度分佈 0 開始掃描並將累加變數設為 0，遇到強度分佈欄位有像素存在時，將該強度分佈欄位佔有的比例乘以 255，並加上累加變數，同時回填於該強度分佈欄位；遇到沒有強度分佈時，欄位則直接將累加變數填進去，最後一個強度分佈欄位的值會等於 255，此步驟的計算方式與 HE 一樣。
- G. 該新建立完成的強度分佈表，即為 12 位元轉 8 位元的轉換對照表。
- H. 最後將原本 12 位元的紅外線影像的每個點(像素)都重新對照出一個新的 8 位元像素，即為我們要看的視訊訊號。

流程圖：

圖 5.15 為總流程圖，共分成 5 個大項步驟，圖 5.16~5.19 其為步驟細項，圖 5.16 為清除直方圖的流程圖，圖 5.17 為建立直方圖的流程圖，圖 5.18 為找出強度分佈的流程圖，圖 5.19 為門檻處理的流程圖，圖 5.20 為建立位元壓縮對照表的流程圖。

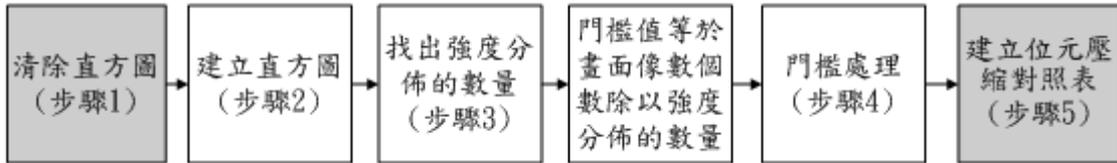


圖 5.15 建立位元壓縮對照表的總流程圖

步驟1：清除直方圖

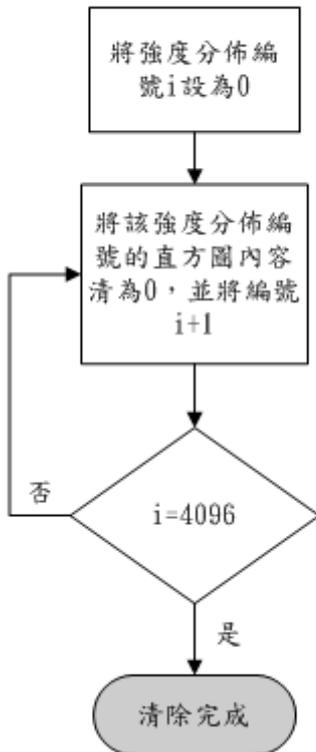


圖 5.16 清除直方圖的流程圖

步驟2：建立直方圖

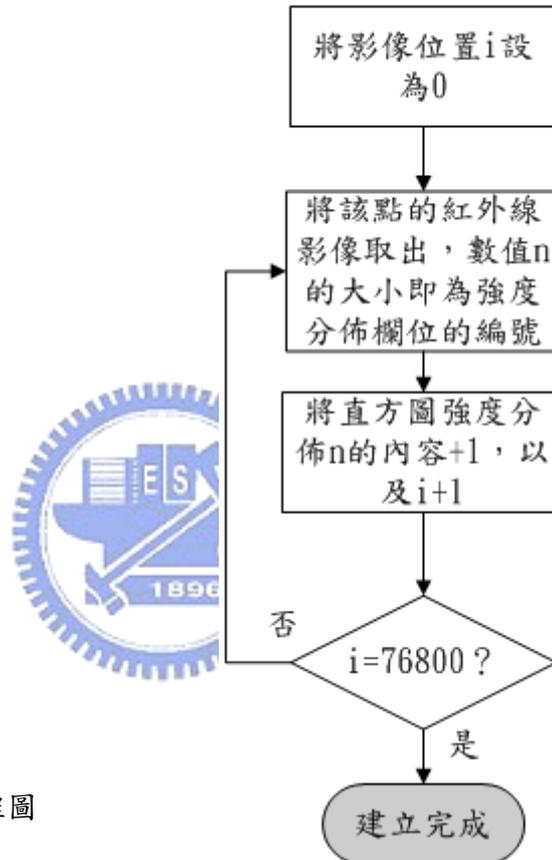
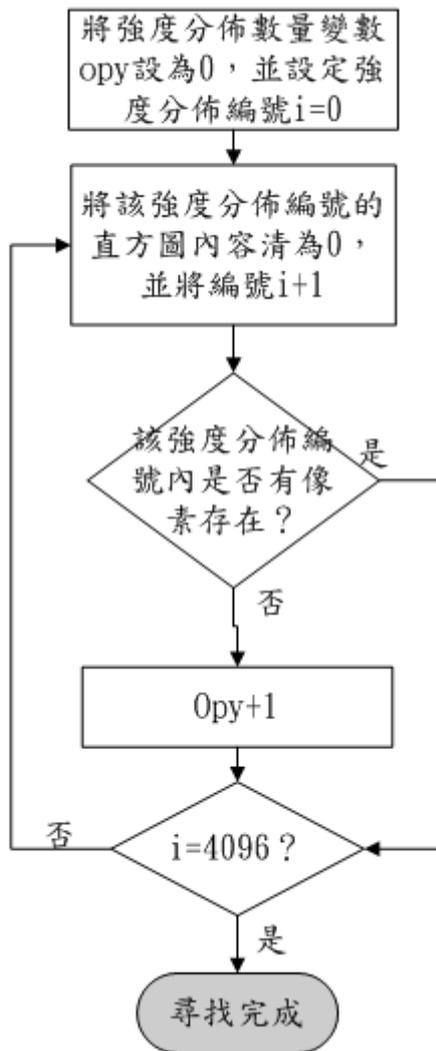


圖 5.17 建立直方圖的流程圖

步驟3：尋找強度分佈的數量



步驟4：門檻處理

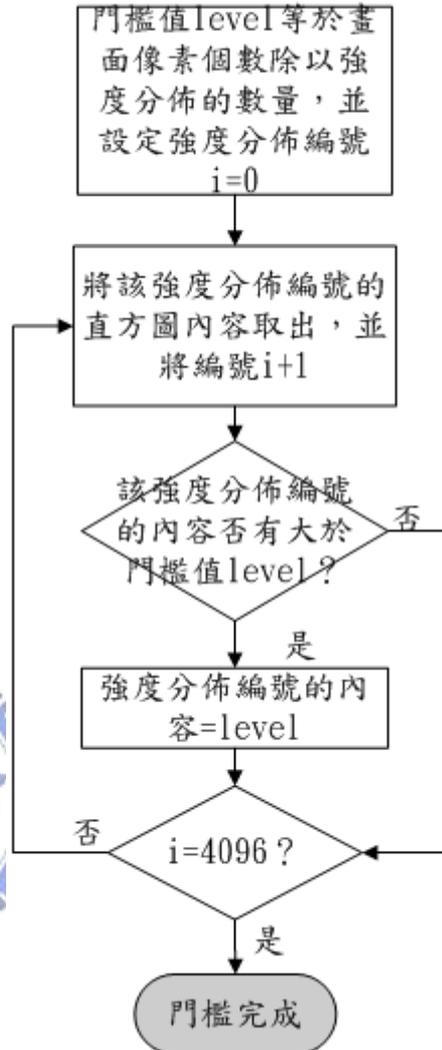


圖 5.19 門檻處理的流程圖

圖 5.18 尋找強度分佈數量的流程圖

步驟五 建立位元壓縮對照表

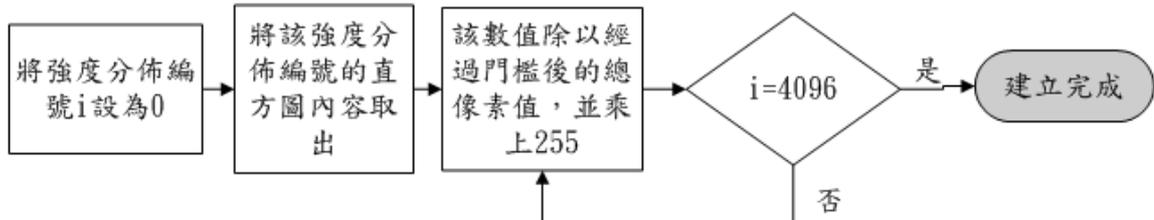


圖 5.20 建立位元壓縮對照表的流程圖

我們將上述的步驟，改寫成 C 語言，其程式如下圖 5.21。

```
//=====
//= Build 12bits to 8bits lookup table =
//= input : *img -> 12bits infrared image =
//=      *histo -> lookup table =
//=====

void BuildLookupTable(unsigned short *img, int *histo)
{  int i,opy,level,pixel;
   float gray;
   // clear histogram
   for(i=0; i<4096; i++)
       histo[i] = 0;
   // build histogram
   for(i=0; i<320*240; i++)
       histo[img[i]]++;
   // determine the clip threshold level
   for(i=0,opy=0; i<4096; i++)
   {  if(histo[i]!=0)
       opy++;
   }
   level=(320*240)/opy;
   // threshold process
   for(i=0,pixel=0; i<4096; i++)
   {  if(histo[i]>level)
       histo[i]=level;
       pixel+=histo[i];
   }
   // build histogram equalization lookup table
   gray = 0;
   for(i=0; i<4096; i++)
   {  gray = gray + (histo[i]/pixel)*255;
       histo[i] = gray;
   }
}
```

圖 5.21 程式碼列表

5.4 以平均區域標準差為調整依據的進一步改良

本論文所提出的改善方法，雖然能有效改善 BOHP 的擠壓破壞現象，與降低 HE 在畫面強度分佈少時所帶來的雜訊強化現象，但在某些情況下，效果仍然不是很理想。以圖 5.22 來看，圖片中的訊號產生器雖然可見，但仍然不夠明顯，因此改善 BOHP 的擠壓破壞現象仍然不足。

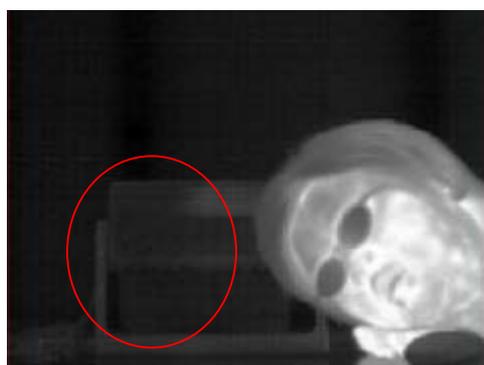


圖 5.22 訊號產生器仍不夠明顯

以圖 5.23 為例，若我們直接對門檻值加權處理以提高它，試圖讓影像中的訊號產生器清楚一點，當我們提高門檻後訊號產生器的確清楚了許多，但若用相同的調整方式於圖 5.24 的影像上，該圖的雜訊卻增加了。



圖 5.23 訊號產生器非常明顯



圖 5.24 雜訊突顯了

問題關鍵：

問題的關鍵在於如何給定一個調整門檻值的加權，而這個加權是依據畫面的內容而定的。在此，我們先將各種可能產生的強度分佈畫面分類，如圖 5.25 所示，左邊是受擠壓的圖，其需要將門檻值提高，中間的圖是強度分佈少的圖，其效果已經很好不需調整，右邊是強度分佈多的圖片，其也不需要再調整。將所有影像經過門檻調整後的畫面平均區域標準差整理出來，並顯示在左下角，我們可以發現畫面標準差跟門檻的調整有相當的關聯。在左邊那三張受到擠壓的圖片中，我們可以發現，其標準差都很小，分別為 5.15/6.52/4.37，因此，我們將標準差的數值大小作為我們調整的依據。



圖 5.25 未經過門檻加權前的結果

從圖 5.25 分析來看，我們需要調整的是低標準差的圖片，高標準差的圖片通常景像豐富的地方比較平均，或是雜訊已經開始突顯了，低標準差的圖片通常是景象較為不豐富，或某一部份被擠壓了。調整門檻的流程如圖 5.26 所示。

門檻加權處理的流程圖

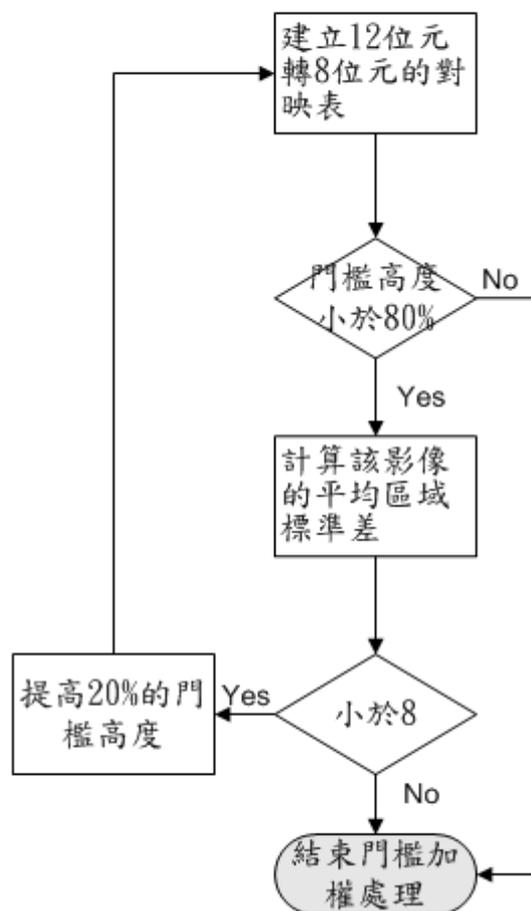


圖 5.26 調整門檻的流程圖

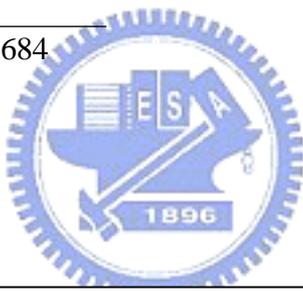
平均區域標準差的計算方式

標準差的計算方式為，將每個經過轉換成 8 位元視訊影像的點，算出其與周圍點的平均差異（式 5.1），然後將整個畫面每個點的標準差加起平均（式 5.2），即為我們要判斷的平均區域標準差了。

$$dev(x, y) = \sqrt{\frac{\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 (f(x+m, y+n) - f(x, y))^2}{9}} \quad (5.1)$$

$$\text{Mean Deviation} = \frac{\sum_{y=1}^{238} \sum_{x=1}^{318} dev(x, y)}{75684} \quad (5.2)$$

C 程式碼：



```
const int MaskPos[9] = {-321,-320,-319, -1,0,1, 319,320,321};
float GetLocalDeviation8(unsigned char *p)
{
    int i,j,k,var,addr;
    float dev=0;
    for(j=1; j<IR_IMAGE_HEIGHT-1; j++)
        for(i=1; i<IR_IMAGE_WIDTH-1; i++)
            {
                addr = j*IR_IMAGE_WIDTH+i;
                for(k=0,var=0; k<9; k++)
                    var = var + (p[addr+MaskPos[k]]-p[addr]) *
                        (p[addr+MaskPos[k]]-p[addr]) ;
                var/=9;
                dev+=sqrt(var);
            }
    dev /= 75684;
    return dev;
}
```

圖 5.27 標準差計算的程式

我們以上面未經過加權調整的圖，與下面經過加權調整的圖（圖 5.28）來比較，上面的圖有 4 張需要加權，加權後發現擠壓破壞的現象改善了更多，證明本方法有其可行的地方。



圖 5.28 經過門檻加權後的結果

六、即時應用的考量

Real Time 的應用並沒有一定的標準，主要為指定時間內完成指定的工作即可，在視訊規格中畫面更新為每秒 30 張影像，也就是說，每張影像必須在 33ms 內完成，因此，我們在建立 12 位元轉 8 位元的轉換對照表時，只要能在 33ms 內完成，我們即能宣稱能即時的應用。

在實際上 BOHP 與 HE 皆有即時的應用了，在我們提出的方法中，相對於 HE 的方法只有增加一道步驟，就是門檻的處理步驟，其餘皆與 HE 的演算法一樣，並沒有增加太多的運算。

本論文提出的方法中需要 4096 次的浮點數的乘法與除法指令運算，在指令的執行時間上，較為花時間的是小數點的乘除法運算，在具有浮點運算器的系統上，並不需要靠其它指令來模擬浮點數的乘除運算，不過在沒有浮點運算器的系統上即使沒有浮點運算器，也能靠著高性能的 CPU 來彌補。

總處理時間的限制、運算指令的多寡及運算指令的執行時間，這 3 個因素為是否能即時應用的關鍵性因素，我們將針對這 3 個因素，來提出我們的改進方式。

1. 小數點的乘除法運算的合併

以程式 $gray = gray + (histo[I]/pixel) * 255;$ 這行為例，pixel 可

以轉成 1 的倒數然後乘以 255，便可省下最耗時的小數點除法運算，並將兩個浮點運算縮成一個，修改後的程式如下：

```
gray = gray + histo[I]*pixel;
```

2. 浮點數改成固點數的乘法運算

浮點數運算在沒有 FPU 的輔助下，會需要相當多的指令來模擬，以 Hitachi DSP 舉例，其需要 184 指令才能完成一個浮點數乘法運算，在此我們可將浮點的乘法改成固點的乘法。我們可以用一個 16 位元的整數來模擬小數點，如圖 6.1 所示，MSB 的 4 個位元表示整數部分，LSB 的 12 個位元表示小數點部分，茲用下面的圖表說明之。我們並未加上正負號的位元，是因為本方法並不需要負號運算，運算完後只要將數值右移 12 個位元即可得到我們要的結果了。

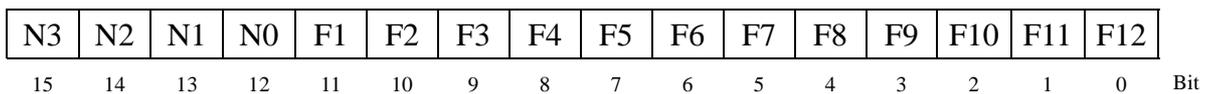


圖 6.1 位元格式

$N0 \sim N3$ 為 2^n 次方，數值範圍 0~15， $F1 \sim F12$ 表示 2^{-f} 次方，數值範圍 0.000244~0.999755，總數值表示範圍為 0.000244~15.999755，最小解析度為 0.000244。舉例來講 浮點數的 0.5 在此為二進制的 0000 1000 0000 0000 其轉換成十進制後為 2048，若原本 $10 * 0.5 = 5$ 的浮點運算，在這裡的運算會是 $(10 * 2048) \gg 12 = 5$ ，最後結果仍然是 5。

為何我們可以用這樣的表示法呢？是因為我們輸入的影像為 12 位元，

最後要轉成 8 位元，最極端的狀況為經過門檻處理後的像素數量為 38400 (只有 2 個強度分佈)，其需要乘上 0.0066，另一個最極端的狀況為經過門檻處理後的像素數量為 4096 個，其需要乘上 0.0622，我們的固點表示法仍然可以忠實的呈現。

我們修改原本用浮點數的程式，如圖 6.2 為原本程式的片段

```
// build histogram equalization lookup table
float gray = 0;
for(i=0; i<4096; i++)
{ gray = gray + (histo[i]/pixel)*255;
  histo[i] = gray;
}
```

圖 6.2

接著我們可以改成如下圖 6.3 的程式，在這裡已經不是費時的浮點運算，而是快速的固點運算了。

```
// build histogram equalization lookup table
int gray = 0;
, unsigned short pixel_int = ((1.0/pixel)*255)*4096
for(i=0; i<4096; i++)
{ gray = gray + histo[i] * pixel_int;
  histo[i] = gray>>12;
}
```

圖 6.3

3. 固定畫面間隔處理的應用

由於我們看的是視訊的影像，視訊的影像具有隨時間逐漸變化的特性，因此，不需要每個畫面都更新位元壓縮對照表，我們只需要每 4 個畫面更新一次，即足夠了。因此，可省下 3/4 的時間，以每秒 30 張的畫

面來講，我們僅需要處理 8 張即可，省下 22 張畫面的處理時間，可以用來做其他的事，如圖 6.4 所示，深色部分的圖框為需要更新位元壓縮對照表的畫面。

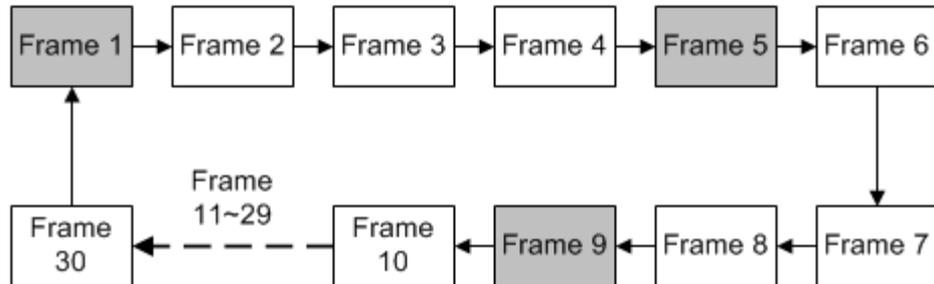


圖 6.4 更新位元壓縮對照表的圖框

最後我們分別測試有浮點運算器的 CPU 與沒有浮點運算器的 CPU，來證明浮點數改成固點數的運算，相較於原始程式的改進效率，表 6.1 為使用無浮點運算器的 Hitachi DSP 實驗數據，表 6.2 為使用有浮點運算器的 Intel Pentium 4 CPU 實驗數據。

表 6.1 無浮點運算器的 CPU 執行時間比較表

	原本的程式	小數點的乘除法 運算的合併	浮點數改成固點 數的乘法運算
執行時間	7.12ms	5.58ms	2.05ms

表 6.2 有浮點運算器的 CPU 執行時間比較表

	原本的程式	小數點的乘除法 運算的合併	浮點數改成固點 數的乘法運算
執行時間	0.78ms	0.62ms	0.47ms

七、實驗

實驗主要是測試本論文提出的方法，是否在各種極端的情況下，均能使畫面上的每個主要物體都能被看得見，以符合監視領域的應用。實驗以本論文提出的方法與 HE、BOHP 處理後的影像做肉眼上的直覺判斷，本論文提出的方法並分為 1-pass 與 2-pass 兩種，1-pass 的處理速度較快適合於即時系統的應用，2-pass 的處理速度較慢但品質較佳。此外，我們將針對畫面單調、強度分佈少的情況、畫面豐富強度分佈多的情況、受到擠壓破壞的情況、細微溫度分辨的情況、室內及室外等 6 個項次來做實驗。表 7.1 為紅外線攝影機的規格，表 7.2 為 PC 的規格。

表 7.1 紅外線規格表

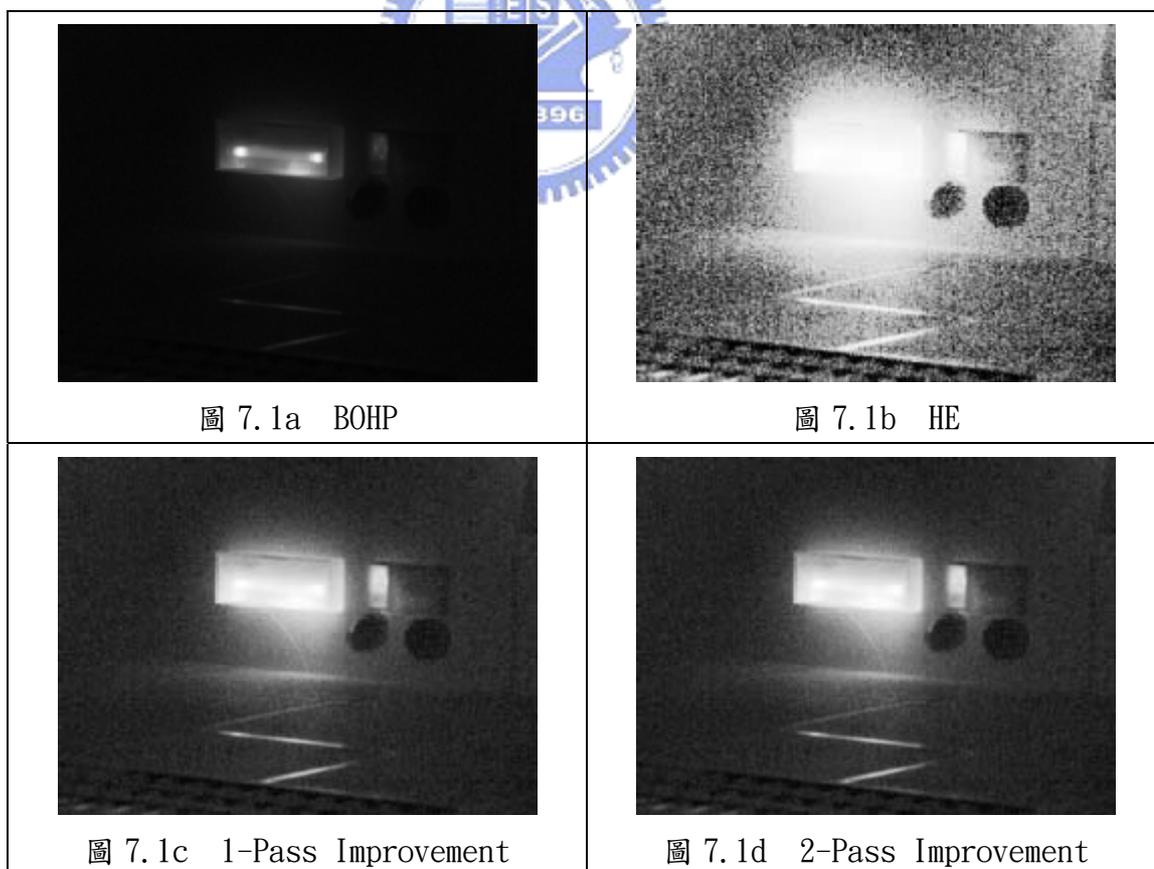
Item	Specification
Sensor	Focal plane array (FPA) uncooled microbolometer 320 x 240 pixels
Spectral range	7.5 to 13 μm
Lens	DIOP 50mm F 0.8
Thermal sensitivity	0.06 $^{\circ}\text{C}$ at 30 $^{\circ}\text{C}$
Video Output	RS-170
Remote Control	RS-232

表 7.2 PC 規格表

Item	Specification
PC	IBM PC
Operating System	Windows 2000
CPU	2.4G Pentium 4
RAM	256 MB
Hard Disk Space	40GB
VGA Card	ATI GeForce 2 32MB DDR
Screen Resolution	1024x768 32bits
Programing Tool	Borland C++ Builder 5.0

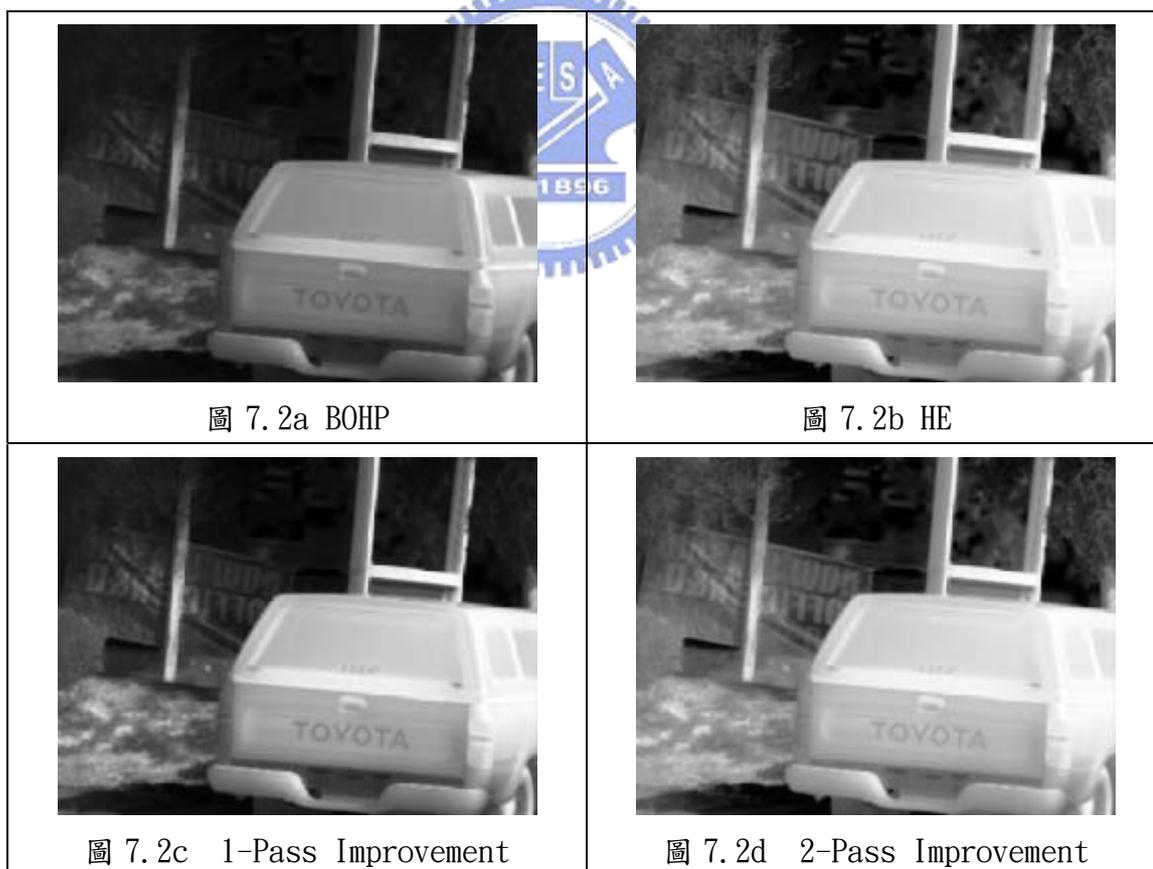
實驗 1：畫面單調時強度分佈少的實驗

證明本論文提出的新方法對於畫面單調時強度分佈少的影像並不會讓雜訊強化出來，同時也能讓物體忠實的顯示，本實驗的紅外線影像共有 175 個強度分佈。圖 7.1a 為經過 BOHP 處理後的影像，在圖中安全燈的熱分佈非常明顯，但地板與周圍的部分皆看不清楚。圖 7.1b 為經過 HE 處理後的影像，在圖中安全燈的熱分佈不明顯且雜訊被大大的強化出來。圖 7.1c 為經過 1-Pass Improvement 處理後的影像，圖中安全燈的熱分佈仍然明顯，且地板與周圍皆看得很清楚。圖 7.1d 為經過 2-Pass Improvement 處理後的影像，與第一階段處理後的結果完全一樣。



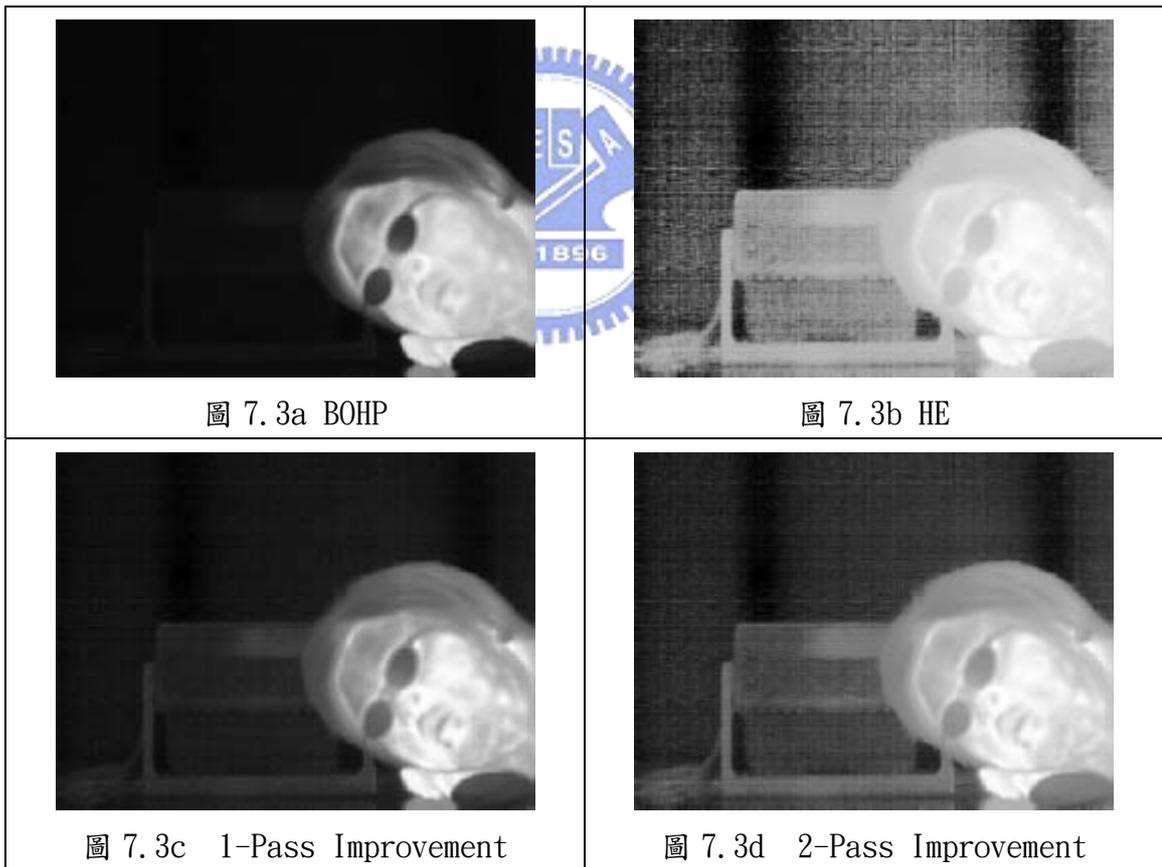
實驗 2：畫面豐富時強度分佈多的實驗

證明本論文提出的新方法對於畫面豐富時，強度分佈多的影像並不會讓原本清楚的畫面變差，本實驗的紅外線影像共有 1274 個強度分佈。圖 7.2a 為經過 BOHP 處理後的影像，圖中車子與背景皆相當清楚。圖 7.2b 為經過 HE 處理過的影像，圖中車子與背景皆相當清楚。圖 7.2c 為經過 1-Pass Improvement 處理後的影像，圖中車子與背景皆相當清楚。圖 7.2d 為經過 2-Pass Improvement 處理後的影像，背景的暗部比 1-Pass Improvement 還清楚。



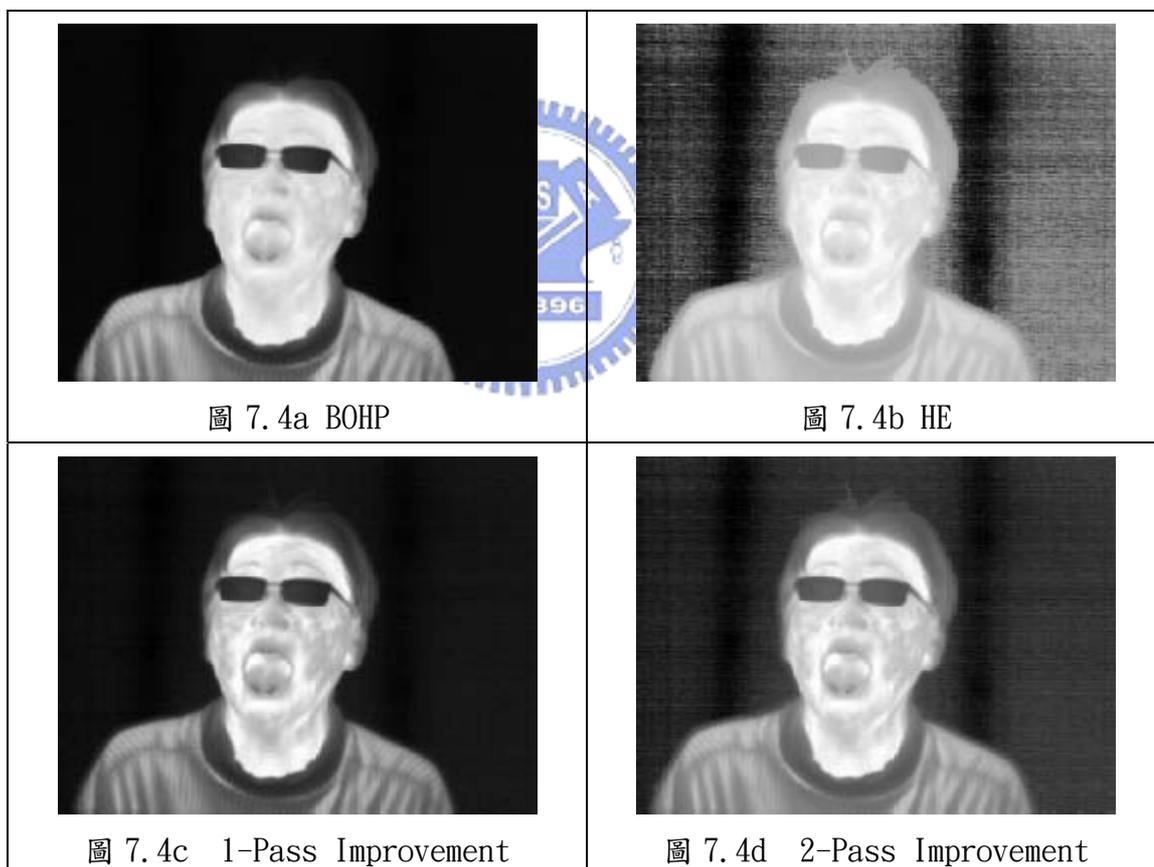
實驗 3：擠壓破壞的實驗

證明本論文提出的新方法對於高強度分佈物體對低強度分佈的擠壓破壞現象，能有一定的抵抗力，本實驗的紅外線影像共有 727 個強度分佈。圖 7.3a 為經過 BOHP 處理後的影像，圖中的訊號產生器已被擠壓的看不見了。圖 7.3b 經過 HE 處理過後的影像，圖中的訊號產生器仍然可見，但雜訊也被強化了。圖 7.3c 經過 1-Pass Improvement 處理後的影像，訊號產生器雖不是很明顯，但仍然可見。圖 7.3d 經過 2-Pass Improvement 處理後的影像，訊號產生器明顯可見且雜訊低。



實驗 4：細微溫度分辨實驗

證明本論文提出的新方法，對於人體或物體的細微溫度分佈能有很好的顯示，本實驗的紅外線影像共有 744 個強度分佈。圖 7.4a 為經過 BOHP 處理後的影像，圖中的人臉的溫度分佈清楚可見。圖 7.4b 為經過 HE 處理過後的影像，圖中的人臉的溫度分佈模糊。圖 7.4c 為經過 1-Pass Improvement 處理後的影像，圖中的人臉的溫度分佈依舊清楚可見。圖 7.4d 為經過 2-Pass Improvement 處理後的影像，人體的溫度分佈稍微模糊。



實驗 5：室內場景的影像實驗

證明本論文提出的新方法，可以適用於室內的場景。

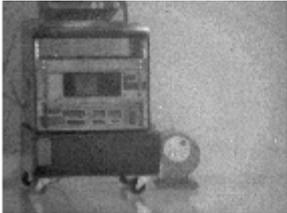
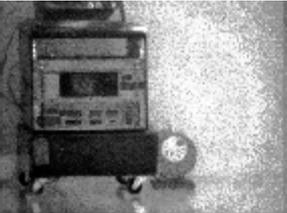
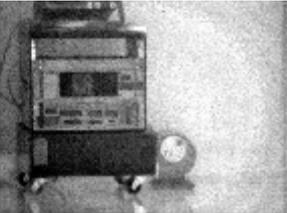
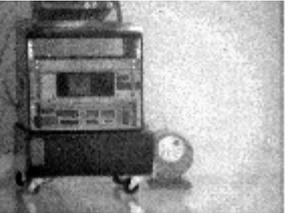
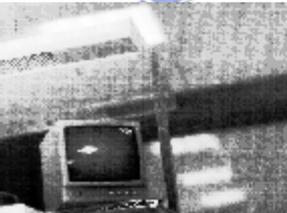
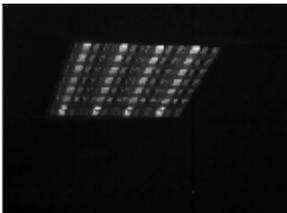
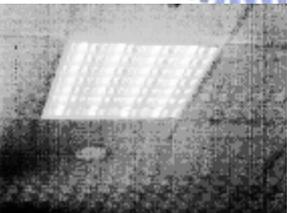
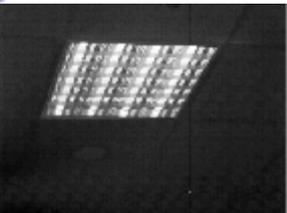
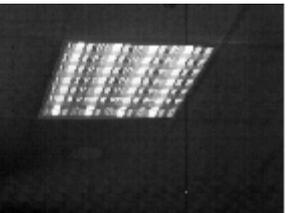
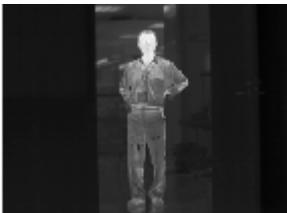
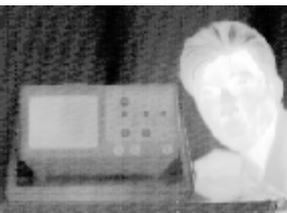
BOHP	HE	1-Pass Improvement	2-Pass Improvement
			
			
			
			
			
			

圖 7.5 室內場景的圖

實驗 6：室外場景的影像實驗

證明本論文提出的新方法，可以適用於室外的場景。



圖 7.6 室外場景的圖

八、結論

本篇論文針對紅外線應用於觀測時的資訊壓縮現象，分析 BOHP 與 HE 的優缺點，並提出一個較為平衡的方法，此方法在大多數的情況下，可以有效地防止物體或背景看不到的現象，經過實驗證明確實可行，同時對於紅外線影像的其他不利於觀察的特質，如雜訊問題及溫度擴散問題等，也有很好的抵抗能力，最後我們也考慮到即時的應用性，提出一個能應用在即時系統上的高效率計算機制。

本篇論文尚有需要加強的部分，尤其是在第二階段針對畫面標準差分析的對比增強處理方面較為花費時間，未來可以再依即時的應用上的需求做更有效率的改良。



參 考 文 獻

- [1] Silverman; Jerry (Waban, MA); Mooney; Jonathan (Waltham, MA); Ewing; William (Stow, MA); Sato; Darryl (San Diego, CA) United States Patent 5249241 Real-time automated scene display for infrared cameras September 28, 1993
- [2] I. Ramesh Babu and I. V. Murali Krishna, “Contrast Enhancement of IRS-1C LISS,” *Geoscience and Remote Sensing, 1997. IGARSS '97, Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development; 1997 IEEE International*, vol. 4, pp. 1778 – 1780, Aug. 1997
- [3] 鄭政利, ”紅外線熱像技術應用於建築熱環境觀測之研究,” *技術學刊*, vol. 17, no. 2, pp. 193-202, 2002.
- [4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing 2nd*, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [5] David L. Shumaker, James T. Wood and Clinton R. Thacker, “Infrared Imaging Systems Analysis,” *DCS Corporation*, 1998.
- [6] M.Kamel and Lian Guan, “Histogram equalization utilizing spatial correlation for image enhancement,” *Proc. SPIE*, vol.1199, pp.712-721, 1989.
- [7] R. A. Hummel, “Image enhancement by histogram transformation,” *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 6, pp. 184-195, 1977.

附錄

國內有關紅外線應用的廠商

公司與網站連結	主要業務
www.qht.com.tw 坤儀高科技股份有限公司	致冷與非致冷型紅外線攝影機的研發與生產廠商
http://www.telesis.com.tw 台群科技股份有限公司	醫療診斷用熱像儀的應用廠商
http://www.ir.com.tw 強將實業股份有限公司	紅外線熱像測溫系統的應用廠商
http://www.insc.com.tw/ 拓捷科技股份有限公司	紅外線工業量測儀器的應用廠商

國外有關紅外線應用的廠商

公司與網站連結	主要業務
http://www.avio.co.jp 日本 AVIO 公司	非致冷型工業用測溫系統的紅外線攝影機研發與生產廠商
http://www.flir.com/ 美國 FLIR 公司	非致冷型工業用測溫系統的紅外線攝影機，軍用紅外線攝影機之研發與生產廠商
http://www.indigosystems.com/ 美國 Indigo 公司	FLIR 的子公司 工業用測溫，保全知系統整合廠商
http://www.sat.com.cn 大陸廣州颯特電力紅外線公司	工業測溫型紅外線攝影機之研發與生產廠商