

# 快速影像除霧方法與實現

謝政勳 林育聖 黃敬翔 蔡致翔 王柏升  
朝陽科技大學資訊工程系  
{chhsieh,s10127620}@cyut.edu.tw

## 摘要

目前的監視器或行車紀錄器等攝影裝置中，常會因為天氣不佳，造成所擷取的影像能見度低，色彩不明顯，而這些因素也可能會影響後續拍攝影像品質。因此，如何將受到霧氣干擾的影像還原成較清晰的影像，是個重要的議題。現在有許多關於影像除霧的演算法被提出，但是近來較著名的方法是以 Dark channel prior(DCP)為基礎的單張影像除霧方法[3]。但是 DCP 方法至少有下列兩個缺點:計算量及過度曝光的現象。

本專題將提出一個改善 DCP 方法缺點的快速影像除霧方法並將其實現在硬體平台上，實驗證明本專題所提出之方法具體可行。

**關鍵字:** 影像除霧, 影像恢復, 暗通道先驗

## Abstract

Currently, imaging devices like surveillance systems and car video recorders suffer from bad weather conditions. One of them is hazing problem which results in poor visibility and color saturation. Therefore, an important issue to the problem is to find an efficient and effective image dehazing algorithm. To deal with the hazing problem, many algorithms have been reported. A popular approach based on the dark channel prior (DCP) was presented in [3]. However, the DCP approach has at least two drawbacks: high computational cost and over-exposure problem. To relieve the two drawbacks in DCP approach, this project proposes a fast single image dehazing algorithm which is then implemented in a hardware platform. Experimental results show that the proposed dehazing algorithm is feasible and promising.

**Keywords:** image dehazing, image restoration, dark channel prior

## 1. 簡介

由於人們在拍照或使用即時影像系統時，會因為各種外在因素而影響到影像的視覺品質，例如光線不足、氣候環境不佳等，而影像除霧的目的就是調整影像的視覺品質，讓人們因為外在因素導致影像品質不佳的情況下，可以利用影像除霧方法減少問題產生的影響，獲得更好的視覺效果。

數位影像應用在生活中產品上已經成為人們生活中的一部分，例如:數位相機、數位攝影機、智慧營手機、行車紀錄器等等。因此在數位影像上的處理技術，也是相當的廣泛於我們的生活之中，像是在戶外場景的影像裡容易受到煙霧、水氣、塵埃、雪等空氣中的介質都會使光線產生散射，導致影像資訊的失去，造成景物的清晰度與色彩的飽和度在經過介質後下降，這些狀況會困擾和混淆人類的觀察，因此，對受影響的影像進行除霧處理以改善影像品質。

所謂的影像除霧，就是在有霧的天氣情況下拍攝影像時，因景物表面反射的光線受到空氣中懸浮的介質所影響，而導致影像對比度的下降，同時周圍環境的光線也會被空氣中的介質散射後進入設備導致影像顏色產生變化，因此整體上影像會變得模糊，影像中的細節會變得不清楚、辨認不易等，無法得到完整且清晰的影像資訊，如圖 1(a)所示，為了恢復成清晰的影像，必須進行影像除霧的處理，如圖 1(b)所示。

影像除霧的方法是一個很大的挑戰，他不僅與自然的氣候有關係，也涉及了光學物理及影像處理的各種演算法，因此單單只是進行簡單的直方圖均化或是對比度調整，並無法達到很好的除霧效果，必須要考慮到一些物理的原理來進行。而霧氣還會依據場景的深度的變化，而有不同的濃度，因此在除霧時還必須要能配合影像前景背景的變化，來進行除霧強度的調整。而考慮到一般行車紀錄器及監視器要普遍的被大眾使用，就必須要符合低成本的需求，所以其處理效能大多並不會太好，因此雖然在現今已經有許多的除霧方法陸續提出，但卻都因為需要用到較複雜的演算法，造成除



圖1. (a)原始影像 (b)除霧後影像

霧時因為運算量過大的問題，無法達到影像即時除霧的目的，又或是除霧效果不佳等...問題，使的影像除霧的方法的應用性降低。因此在本文，希望藉由改良除霧的演算法，來達到降低執行除霧時的運算量，使除霧的方法能得到更佳的適應性及更廣泛的應用。

在文獻[1]Tan 學者觀察發現二個現象：(i)無霧影像相對於有霧影像具有較高的對比度，(ii)大氣光之大小完全取決於景深，根據上述觀察，作者藉由估計霧模型中的參數，提出了一個除霧演算法，並透過最大化復原影像的局部對比度來達到除霧的目的。Tan 學者等人的方法雖然能得到不錯的除霧效果，但是這個演算法卻有幾個缺點：(i)需要耗費大量的運算時間，(ii)不能恢復影像原來的顏色，常會使復原後的影像顏色過於飽和，(iii)在景深不連續的地方會產生光暈(Halo)的現象。在文獻[2] Fattal 學者在求解過程中，使用了獨立分量分析方法。這個方法一般而言對於薄霧效果不錯，但是對於處理較濃的霧氣的能力似乎較為不足。在文獻[3]何愷明學者提出了一個以暗通道先驗(Dark Channel Prior)的方法霧氣的濃度，並藉由估計出來的霧氣濃度來進行影像除霧，後面我們簡稱為 DCP 方法。一般而言，DCP 方法的效果不錯，其除霧影像也有不錯的品質。然而這個方法仍然存在二個明顯的缺點：(i)若輸入有霧影像中有天空或較大面積的光亮部分，在除霧後的對應部分會有過度曝光的情形發生，(ii)為了處理產生之影像光暈現象所使用的 Soft Matting 演算法，其計算複雜度相當高，因此只適用於處理單張影像。對於需要即時處理連續影像之攝影裝置，原始的暗通道除霧方法則無法實際應用於相關影像裝置產品上。在文獻[4]中值暗通道先驗(Median Dark Channel Prior)的方法嘗試針對暗通道除霧方法會產生光暈的問題進行改良，並以即時處理為目標。這個方法除了將原始暗通道最後之最小濾波器輸出改為中值濾波器輸出外，另外一個重要改變就是省略 Soft Matting 部分，使得連續影像即使處理成為可能。儘管如此，這個方法仍然存在二個基本問題：(i)省略 Soft Matting 之除霧後影像仍然有光暈的現象，(ii)除霧影像的天空或

較大面積光亮的部分仍然存在過度曝光的現象。在文獻[5] 為了增加影像除霧的速度，這個方法省略精煉透射率圖 Soft Matting 的大量計算來達到快速除霧的目的。為了解決省略 Soft Matting 後伴隨而來的光暈問題，作者利用快速小波轉換分別對  $15 \times 15$  及  $1 \times 1$  視窗所得到透射率圖進行轉換，並將  $1 \times 1$  視窗透射率圖高頻的部分及  $15 \times 15$  視窗透射率圖低頻二個部分融合後，進行快速小波反轉換後，得到最終的透射率圖，再用以進行除霧。儘管作者期望藉此達到消除光暈的效果，但是觀察省略 Soft Matting 之除霧後影像仍然有輕微光暈的現象。此外，這個方法的除霧效果一般而言比其他除霧方法差。在文獻[6]作者觀察到過度強化的對比度可能會造成一些資訊的損失，因此本文作者提出了一個最佳的對比度強化方法，來避免訊息的損失。另外，作者將暗通道先驗方法中之最小濾波方式做了改變，將原來使用固定鄰域像素的方式改為使用一個可朝平滑區域移動的可移動視窗(Shiftable Window)來選擇最小濾波器的鄰域像素，期望藉此減少區塊效應。這個方法因為省略 Soft Matting 增加了處理速度，但是其除霧後影像仍然有光暈的問題。在文獻[7]作者認為要在有限的軟硬體上進行影像除霧，必須減少運算量，達到即時除霧的需求。為了解決這個問題，本篇論文作者省略 Soft Matting 計算，在暗通道估計則使用較小的濾波視窗，並提出一個強化邊緣的  $3 \times 3$  平均濾波器來改善暗通道造成的光暈問題。在原始影像上，這個方法透過檢測視窗內像素間的差值來判斷視窗是否介於邊緣。若是，則在邊緣進行調整平均濾波器的權重，藉此達到強化邊緣的目的。雖然這個方法能夠有效的解決光暈的問題，但是  $3 \times 3$  視窗的平均濾波對於物件細節的平滑效果並不理想，可能造成除霧後影像銳利度或對比度降低。

本文第一小節主要在簡述除霧方法的背景及相關參考文獻，第二小節我們將回顧 DCP[3] 除霧方法並提出 DCP 方法仍存在的問題，在第三小節我們將提出改良 DCP 的方法，在第四小節我們會透過實驗來驗證我們的結果，並且將 DCP 及我們提出的方法 HTW 的除霧結果進行比較，在第五節我們會將我們所提出來的方法實際的應用到 DVR 系統上，最後第六小節為我們的結論。

## 2. DCP 方法回顧

DCP 方法之基礎是根據以下觀察：一般而言在無霧或霾情況下所拍攝的影像中，絕大多數的影像區域中都存在至少一個顏色通道強度很低的像素值，近似黑色的像素值，這個統計現象稱為暗通道先驗。透過暗通道可以直接估

計影像中霧的濃度，進而提升影像能見度。針對原始的 DCP 方法說明如下：

首先定義含霧影像之物理模型，我們可以將一個影像擷取的攝影機受霧氣影響的過程由圖 1 來表示，當陽光照射到遠方物體時會產生一個  $J(x)$ ，即為場景中的輻射值 (Scene Radiance)，這也代表一個完全沒有受到霧氣干擾的原始場景資訊，然而當  $J(x)$  在反射過程中經過空氣環境中一些懸浮粒子或是水氣的影響，會產生散射的現象，使的實際能穿過大氣被攝影機所觀測到的  $I(x)$ ，即為影像強度 (Observed Intensity)，會失去部分影像資訊。而我們將  $J(x)$  實際能被攝影機所觀測到的比率稱為  $t(x)$ ，即為大氣傳輸光線過程中未散射之透射率 (Transmission)，而  $A$  是指整體影像中的大氣光 (Global Atmospheric Light or Air Light)，我們可以将這整個過程由公式 1 來表示：

$$I(x) = J(x) \cdot t(x) + A(1 - t(x)) \quad (1)$$

根據公式 (1)，達到影像除霧之目標就是要從  $I(x)$  中估計  $A$  及  $t(x)$ ，進而估計  $J(x)$ 。

以下說明 DCP 方法實行步驟，並由圖 2 表示：

步驟 1. 計算暗通道如下：

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left[ \min_{c \in \{r, g, b\}} (I^c(y)) \right] \quad (2)$$

其中  $\Omega(x)$  是以  $x$  為中心之視窗大小。

步驟 2. 基於暗通道先驗特性，估計透射率如下：

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \times J^{dark}(x) \quad (3)$$

步驟 3. 為了解決光暈的問題，使用 Soft Matting 技巧精煉透射率  $\tilde{t}(x)$ ，精煉後的透射率記為  $t(x)$ 。精煉  $t(x)$  的過程是將下列之代價函數最小化：

$$E(t) = t^T L t + \lambda (t - \tilde{t})^T (t - \tilde{t}) \quad (4)$$

其中拉普拉斯矩陣  $L$  定義如下：

$$\sum_{k(i,j) \in \omega_k} \left( \delta_{i,j} - \frac{1}{|\omega_k|} (1 + (I_i - \mu_k)^T (\Sigma_k + \frac{\epsilon}{|\omega_k|} U_3)^{-1} (I_j - \mu_k)) \right) \quad (5)$$

其中  $\delta_{i,j}$  為 Kronecker delta 函數。最後解出下列線性系統就可得到最佳的透射率值  $t(x)$ 。

$$(L + \lambda U)t = \lambda \tilde{t} \quad (6)$$

步驟 4. 估計大氣光  $A$ 。取  $J^{dark}(x)$  最亮的前 0.1% 像素，然後找出這些像素所對應的原始影像像素值中的最大值做為大氣光  $A$  之估計值。

步驟 5. 估計除霧影像如下：

$$\hat{J}(x) = \frac{t(x) - A}{\max[t(x), t_0]} + A \quad (7)$$

其中  $t_0$  為一個常數 0.1。

DCP 有不錯的除霧效果，其除霧影像也有不錯的品質，如圖 3(f)。儘管如此，這個方法仍然存在二個基本問題：(i) 為了達到即時除霧若省略 Soft Matting 之除霧後影像仍然有光暈的現象，如圖 3(d)，(ii) 除霧影像的天空或較大面積光亮的部分仍然存在過度曝光的現象，如圖 4(b)。

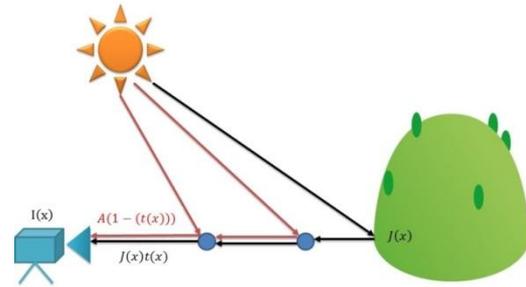


圖 1. 霧的影像模型

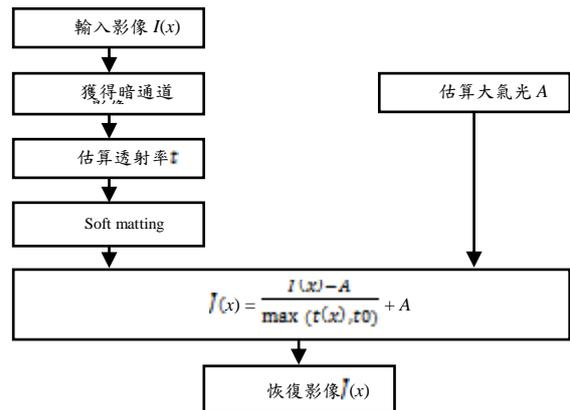


圖 2. DCP 方法除霧流程圖

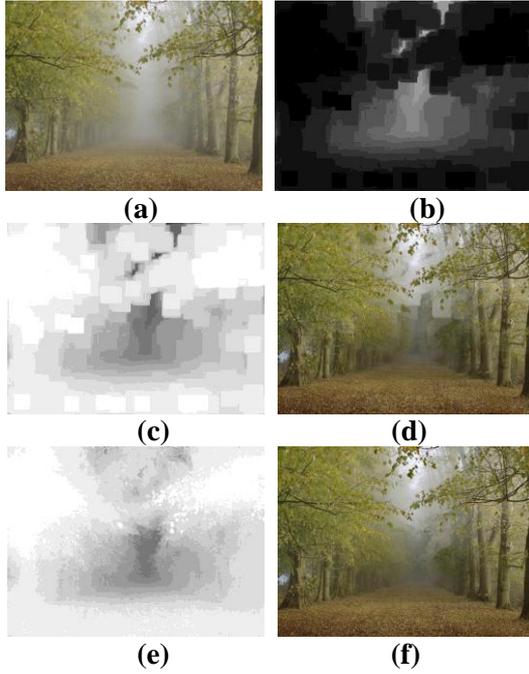


圖 3. DCP 方法除霧流程圖(a)原始影像 (b)圖(a)經暗通道先驗處理 (c)透射率分布 (d)未經 soft matting 處理除霧後的影像 (e)經由 soft matting 處理後的透射率分布 (f)經由 soft matting 處理除霧後的影像



圖 4. Lake 影像(a)原始影像 (b)除霧後的影像

### 3. HTW 方法

觀察 DCP 的方法我們認為在省略 Soft Matting 除霧後影像有光暈的問題主要是因為使用  $15 \times 15$  視窗來計算暗通道，並用於透射率  $t(x)$ 。因此在所提的 HTW 除霧方法中，我們嘗試只以  $1 \times 1$  視窗來計算暗通道。然而這個改變使透射率只與暗通道  $J_1^{dark}(x)$  有關，為了因應這個改變，我們根據經驗建構一個適應性機制來調整  $t(x)$ ，期能提升除霧效果，避免光暈現象。另外對於 DCP 方法在除霧後會有過度曝光的問題，我們認為可能是因為大氣光估計的錯誤所影響，為了改善這個問題，我們觀察發現一個環境裡應該會有多種的光源，因此在大氣光的部分我們將以原圖  $I$  每一點的 RGB 中找出最大值作為大氣光  $A(x)$ ，為了得到更好的除霧結果，在計算大氣光時我們會對  $A(x)$  進行調

整。以下說明 HTW 方法實行步驟，並由圖 5 表示：

步驟 1. 計算暗通道  $J_1^{dark}(x)$  如下：

$$J_1^{dark}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (I^c(x)) \quad (8)$$

步驟 2. 估計大氣光  $A(x)$  如下：

$$A(x) = (\max_{c \in \{r, g, b\}} (I^c(x)))^n \quad (9)$$

其中  $n$  介於  $0 \leq n \leq 1$ 。

步驟 3. 計算暗通道  $J_1^{dark}(x)$  的標準差  $\sigma_J$ 。

步驟 4. 計算縮放因子  $B$  如下：

$$B = \min(1.5 \times (1 - \sigma_J), \beta) \quad (10)$$

其中  $0 < \beta \leq 1$  為調整因子。

步驟 5. 估計最後透射率  $t(x)$  如下：

$$t(x) = 1 - B \times J_1^{dark} \quad (11)$$

步驟 6. 估計除霧影像如下：

$$\hat{J}(x) = \frac{t(x) - A}{\max[t(x), t_0]} + A \quad (12)$$

最後我們經過實驗發現調整大氣光參數  $n$  能夠影響除霧的結果，而當  $n=0.4$  時除霧效果較佳。因此後面的除霧結果我們將以這個參數來對大氣光做調整。

### 4. 實驗結果與比較

為了初步驗證 HTW 方法的可行性，我們使用 MATLAB 來撰寫 HTW 程式，並以 Forest 有霧影像做為範例。在 HTW 方法中，設定參數值  $n=0.4$ 、 $t_0=0.1$ 。原始有霧影像與經 HTW 方法處理後之除霧影像，顯示在圖 6 及圖 7。為了比較，圖 6 及圖 7 中也將 DCP 方法除霧結果一併顯示。由圖 6 顯示的結果可以發現，本

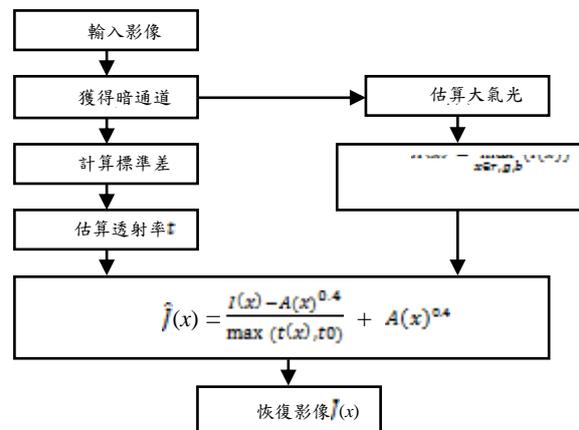


圖 5. HTW 方法除霧流程圖

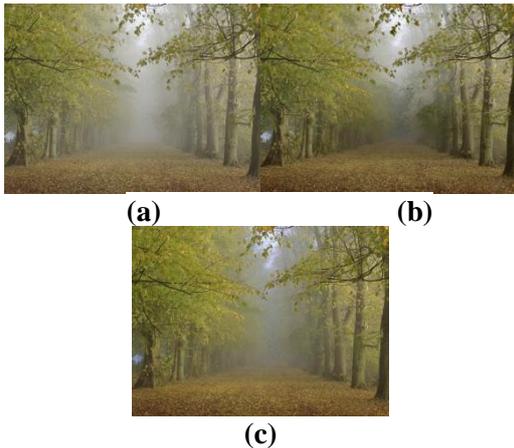


圖 6(a)原始 Forest 影像 (b)經 DCP 方法除霧後 (c)經 HTW 方法除霧後

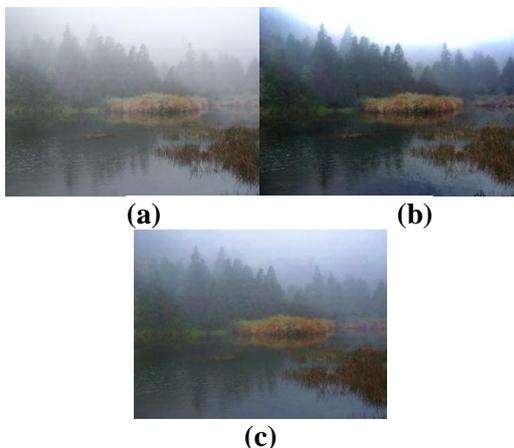


圖 7(a)原始 Lake 影像 (b)經 DCP 方法除霧後 (c)經 HTW 方法除霧後

文所提的 HTW 除霧方法與 DCP 方法比較後可以發現，經 HTW 方法除霧後影像仍然保有不錯的色飽和度，且有不錯的除霧效果。另外，值得注意的是，HTW 方法解決了 DCP 方法去 soft matting 演算法後的光暈的問題，如圖 3(c) 及圖 6(c) 樹葉邊緣處所示，由於剛好藉於前景及背景落差極大的部分，所以這裡的光暈也特別明顯，而 HTW 方法因為去除了  $J_{15}^{dark}(x)$  計算因此沒有光暈的問題，因此可以省略 soft matting 計算使執行速度明顯的改進許多。圖 6 範例為一張 500\*374 的影像，經 HTW 除霧方法僅使用執行時間 0.94 秒，而 DCP 方法則使用了 100 秒。另外在圖 7(b) Lake 影像在經過 DCP 處理後可以發現背景天空由於錯誤的大氣光估計，因此產生過度曝光的現象。而經過 HTW 處理後的圖 7(c) 則改善了這個問題，使天空的細節很好的被保留下來。圖 7 範例為一張 500\*374 的影像，經 HTW 除霧方法僅使用執行時間 0.95 秒，而 DCP 方法則使用了 101 秒。

## 5. 快速影像除霧方法與實現

由於資訊應用的快速發展，影像與視訊處理的相關技術已廣泛應用於電子產品上，影像除霧技術也是相當重要的處理技術之一，雖然 DCP 方法能有效的進行影像除霧，但由於執行速度過長及會有過度曝光的問題，針對以上兩點提出了改善的方法，雖然效果不甚理想，但在執行速度上提升了許多以利于即時系統上進行處理，本專題將以我們所提出的 HTW 方法應用於監控 DVR 系統上。

### 5.1 硬體設備

本篇文章針對前端影像壓縮之監控 DVR 系統採用韓國 VOC (Vision on Chip) 公司所設計之 8-Channel (VX8CTFN) all in one 的 SOC DVR 影像監控壓縮芯片作為 DVR 系統開發之用，此芯片影像壓縮與解碼核心為硬體編解碼方式，針對網路影像串流功能此 IC 提供了 MPEG-4 Like 的 encoder 將 MJPEG 的格式封裝成 MPEG-4 其核心開放與簡單與整合硬體功能完善，符合了安全監控市場低價低成本的等級系統其架構如圖 8 所示。

此系統平台可以設計為監控市場所需要的 8CH 影像即時監控錄影 DVR 的產品，前端影像輸入可以同時接入 8 組的監控攝影訊號，並同步提供即時壓縮錄影儲存至硬碟與輸出 TV 訊號給監控人員即時監控管理。

即時影像擷取與影像壓縮則是採用嵌入式 MJPEG 壓縮之數位監控錄影機實作於嵌入式 DVR 系統中：

1. 即時影像串流接收解碼。
2. 影像數據資料即時顯示。
3. 遠端命令與資料數據回傳控制前端 DVR 主機等主要功能。



圖 8. DVR 監視系統架構



(a) (b)  
圖 9. (a)原始影像(b)除霧後影像



(a) (b)  
圖 10. (a)原始影像(b)除霧後影像

我們將利用影像除霧方法應用於監控設備來實驗或實作模擬遠端即時影像串流監控系統，將處理時間較快的方法以及較好的除霧效果應用於監控系統上，達到即時影像除霧的功能。

## 5.2 實驗結果與討論

經過各種研究方法比較過後，由於 HTW 方法不論是對比度的提升、暗部細節的處理，確實有達到不錯的效果，在暗部細節也沒有失去太多的情形，亮部也沒有因除霧後而有曝光的問題。在處理影像時間的問題上，HTW 方法得處理時間與 DCP 方法相比提升了一倍以上的時間，且呈現的效果也是最好的。但需要注意的是處理影像的時間也會根據電腦的處理速度、影像的尺寸大小也是會因為電腦效能而在處理時間上而有所變化，因此我們將此方法應用於監控系統。

由圖 9(a)及圖 9(b)比較後可以發現，圖 9(b)影像對比度明顯有提升，天空的顏色更也強調出來，並且改善原始影像接近曝光的問題。

由圖 10(a)及圖 10(b)影像比較可以發現圖 10 在樹葉的部分對比度明顯提升許多，且在遠處的山也因為經過除霧後將山的顏色拉了回來，確實達到了除霧的效果。

## 6. 結論

由於影像容易受到空氣中介質的影響而降質，因此，對影像進行除霧處理，可增加影像資料的可用性。影像的除霧方法有許多種，本

研究主要探討暗通道先驗的除霧方法，本專題改進其影像曝光及執行時間較長的問題，使除霧影像色彩更符合人眼視覺效果。

我們所提出的 HTW 方法特色在於改善了原先何愷明 DCP 方法中曝光及執行時間較長的兩個問題，在曝光部分我們使用修改大氣光估計的方式來進行改善，另外因為 soft matting 執行時間較長，所以我們利用暗通道來估計透射率，移除了 soft matting 來縮短除霧時間。最後將我們提出的方法成功移植於監控系統上進行即時影像除霧。

## 致謝

感謝行政院國家科學委員會專題研究計畫 NSC 102-2221-E-324-037-補助支持本論文研究成果。

## 參考文獻

- [1]R. Tan “Visibility in bad weather from a single image,” *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 2347-2354, 2008, Washington, DC.
- [2]R. Fattal “Single image dehazing,” *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 27, No. 3, pp. 721-729, 2008.
- [3]Kaiming He, Jian Sun, and Xiaoou Tang “Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior,” *IEEE Transactions on Pattern and Analysis and Machine*, Vol. 33, Issue 12, pp. 2341-2353, Dec., 2011.
- [4]Kristofor B. Gibson, Dung T. Võ, Truong Q. Nguyen, “An Investigation of Dehazing Effects on Image and Video Coding”, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 21, No. 2, pp. 662-673, 2012.
- [5]Z. Wang and Y. Feng, “Fast Single Haze Image Enhancement,” *Computers & Electrical Engineering*, Available on <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790613001699>, 31 July 2013.
- [6]Jin-Hwan Kim, Won-Dong Jang, Jae-Young Sim, Chang-Su Kim, “Optimized Contrast Enhancement for Real-time Image and Video Dehazing,” *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 24, Iss. 3, pp. 410-425, February, 2013.
- [7]Yeu-Horng Shiau, Hung-Yu Yang, Pei-Yin Chen, Ya-Zhu Chuang, “Hardware Implementation of a Fast and Efficient Haze Removal Method,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 23, No. 8, pp. 1369-1374, August, 2013.

