

論文

以飽和度與亮度進行電腦視覺煙霧辨識研究

蒲永仁¹ 施安鍵¹ 李素幸¹

¹ 長榮大學職業安全與衛生學系

摘要

火災探測具有悠久的歷史，傳統的感熱式與偵煙式探測器係分別利用火焰產生的熱與煙來觸發作動，而火焰式探測器則以火焰發出之紅外光或紫外光強度來作動，這些探測器絕大多數都是火警自動警報設備的一環，無法單獨設置，而且因探測原理的限制，易受環境干擾而延遲或誤報；此外，多數火災發生之初，首先產生大量煙霧，瀰漫整個場所，人員往往因此能夠在遠處察覺災害的發生。近年來電腦視覺產品成本的大幅下降，監視器材運用日漸廣泛，以可見光直接監控工作場所火災或煙霧的產生，精確的判別火災的發生而減少誤報，則成為必然的趨勢。本研究擬利用圖控式程式語言研發出一套易於操作之煙霧監視程式，利用視覺直觀方式將監視影像之RGB色彩系統轉換為HSI系統，首先將所有像素資料初始化，得到平均像素值及平均像素值變化量，接著以其像素飽和度之動態變化過濾雜訊，並藉由煙霧辨識參數，在彩煙球釋放的影片中辨識出煙霧前景；接著利用此前景像素的亮度分佈，進一步手動找出過濾雜訊的亮度門檻值，得到前景過濾畫面；最後以追蹤框鎖定最大煙霧前景，藉以準確地判斷煙霧的發生。

關鍵字：煙霧、飽和度、亮度、影像處理、電腦視覺

前言

近年來各類場所與設施均需設置火警自動警報設備，藉由探測器來偵測火災以發出警報[1]。各種探測器依偵測火焰的特性分為感熱、偵煙及火焰式三種：感熱與偵煙式探測器必須與火焰產生之熱氣與煙霧直接接觸來作動，然而熱與煙之擴散累積相當費時，往往造成警報之延誤；而火焰式探測器係感應火場發出的紅外線或紫外線來作動，但是易受環境中之自然或人工熱源所影響而產生誤動作。這些傳統的探測器均有其適合的設置場所，對於挑高空間、大廳、工廠、隧道甚至戶外開放場所，則是力有未逮。

影像處理技術的發展已超過50年[2]，隨著電腦效能的提升及影像設備成本的降低，各種視覺辨識的應用也逐漸普及。早期的技術大致上僅限於軍事、航太及醫學產業，如今則是在各種領域蓬勃發展，特別是保全及工業上的應用，例如：。由於監視設備的廣泛設置，利用電腦視覺來辨識火焰與煙霧，已發展近20年，理論上監視鏡頭易於捕捉到火災產生的煙霧，至於火焰本身則可能被遮掩或位於鏡頭視角以外而無法入鏡，因此煙霧辨識始終是值得探討的課題。在監視畫面辨識上，一般都以目標物的輪廓或是像素值變化，以擷取其特徵值來判斷：例如煙霧會模糊景象的清晰度，在大陸就有學者藉由小波轉換之高頻信號先決定邊界，接著以相關性分析來辨識煙霧之移動[3]，或從形狀搭配高頻能量差來確認煙霧[4]；中東學者利用煙霧在紅外線影像中不易顯像的特性，比較可見光與紅外線影像來偵測近距離之煙霧[5]；針對森林火災，則可利用影像差異法找出可疑前景，並藉由色度矩分析來辨別出煙霧[6]；而在野火監控任務上，歐洲學者有的組建

人造虛擬環境來發展遠距煙霧偵測技術[7]，另有藉由轉動單一鏡頭來達到360度之警戒狀態[8]。

彩色畫面的像素值一般以RGB (Red, Green, Blue) 屬性來表達，其像素值包含三個八位元的亮度值，依序描述紅綠藍三原色，其優點在於讓人易懂好學，但在實際操作時極易被光和影所影響。但是在某些特定影像辨識應用中，HSI (Hue, Saturation, Intensity) 色彩系統處理上較有優勢，其中 I 代表8位元亮度， S 為飽和度，其值為0至1， H 則為色相，單位為徑度。HSI模式優點之一在於其三個屬性在光影的變化下，彼此獨立，互不干擾，以火災辨識為例，其火焰像素之亮度 (Intensity) 非常大，而大多有色煙霧的飽和度 (Saturation) 則是落於特定區間。圖1為煙霧釋放之單張畫格圖例，左圖為原畫面，右圖則是飽和度圖。在右圖中煙霧雖然清楚可見，但是仍有許多背景物體與雜訊之飽和度位於該區間內，在萃取時可能隨著煙霧一起成為前景，例如圖中的小草叢與遠方地面等。

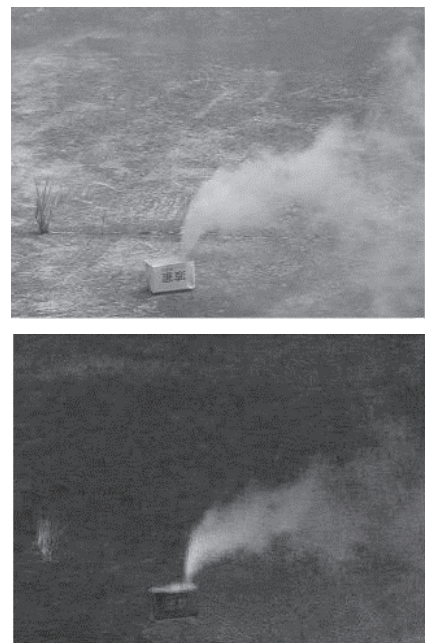


圖1 煙霧釋放圖例

本研究先介紹靜態萃取飽和度前景像素，接著利用煙霧移動特性，結合動態萃取飽和度像素以過濾靜態物像，最後分析前景像素亮度值分佈，找出截去雜訊的亮度門檻，進一步提升煙霧辨識的效果。吾人使用圖控式程式語言 LabVIEW7.1 撰寫煙霧辨識程式，電腦則採用 Intel Core 2 Duo CPU E8300, 2.83GHz 系統，煙霧影片均係彩色畫面且尺寸為 640×480。

方法

本節將介紹的煙霧辨識的程序及方法，為了技術開發的便利性，本研究先拍攝得到許多煙霧釋放的影片並存檔備用，方便爾後由辨識程式輸入以進行影像處理。另外，本研究的監視環境設計為固定鏡頭，拍攝戶外空曠水泥地容器釋放之煙霧，攝距不超過10公尺。

1. 資料初始化

首先將乾淨影像的連續畫面每一像素均視為背景，並以二更新方程式記錄為歷史值：

$$\bar{p}_m = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m} \text{ 及 } \bar{\sigma}_m = \frac{\sum_{i=2}^m |p_i - p_{i-1}|}{m-1},$$

其中 p_i 為第 i 張畫面之某一像素值，在此將代表HSI系統的亮度或飽和度； m 為從頭累計之畫面張數， $m>1$ ； \bar{p}_m 可稱為平均像素值，而 $\bar{\sigma}_m$ 稱為平均像素值變化量，當初始化結束時，程式立即進入監控模式，此二者即提供作為動態萃取的初始值。

2. 飽和度靜態萃取

吾人藉由固定飽和度區間上下門檻 $S_R = [S_{min}, S_{max}]$ 進行首次萃取前景，任何像素之飽和度落於其間則視為前景，否則紀錄為背景，此

舉除了過濾出煙霧之外，不免納入畫面中其它飽和度相似的物像，必須採用下述方法進一步濾除掉。而飽和度區間之雙門檻，將由作者的經驗法則決定，主要係得以萃取大部分煙霧範圍為主。

3. 飽和度動態萃取

吾人將利用移動目標動態偵測技術 [9,10]，進行煙霧之飽和度動態萃取，方法如下：在飽和度影像畫格中各種物體的像素值均不相同，若其為靜態則像素值固定，可計算像素瞬間動態變化量，並設定一門檻值將其視為背景過濾掉；若物體移動，將有若干像素變化量高於門檻，得以通過動態變化過濾出而成為前景物。假設目前程序讀進第 $n+1$ 張畫面，欲處理某一像素值 p_{n+1} ，而第 n 張以前該像素歷史平均值為 \bar{p}_n ，歷史資料變化量為 $\bar{\sigma}_n$ ，則像素新資料變化量為 $\sigma_{n+1} = p_{n+1} - \bar{p}_n$ ，且瞬間動態變化量對於背景值更新之公式為

$$\bar{p}_{n+1} = \beta \cdot p_{n+1} + (1 - \beta) \bar{p}_n \dots\dots\dots(1)$$

$$\bar{\sigma}_{n+1} = \beta |p_{n+1} - \bar{p}_n| + (1 - \beta) \bar{\sigma}_n \dots\dots\dots(2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \sigma_{n+1} > \bar{\sigma}_n, \text{ then } p_{n+1} \text{ is foreground,} \\ \bar{p}_{n+1} = \bar{p}_n \text{ and } \bar{\sigma}_{n+1} = \bar{\sigma}_n \\ \text{if } \sigma_{n+1} \leq \bar{\sigma}_n, \text{ then } p_{n+1} \text{ is background,} \\ (1) \text{ and } (2) \text{ are applied } \dots\dots\dots(3) \end{array} \right.$$

其中 \bar{p}_{n+1} 為背景像素值更新的權重和，而每一筆新資料更新之權重為 β ，其受影像更新率和程式運算反應常數所決定，在此 p 值可為任何色彩系統之屬性，在此則是飽和度數值。 $\bar{\sigma}_{n+1}$ 為此一像素背景平均變化量之更新，新資料變化量 σ_{n+1} 與歷史資料變化量 $\bar{\sigma}_n$ 之比較，可將移動與非移動像素分離為前景與背景，若像素為前景則歷史資料續用前值不必更新，若為背景則將其更新。透過 \bar{p}_n 與 p_{n+1} 間之權重大小，可調整更新歷史資料之速度，使其不斷隨時間演

進，來消除畫面因光影變化或些微擾動產生的雜訊。

在上述動態變化過濾中，為避免飽和度之背景歷史資料變化量 $\bar{\sigma}_n$ 等於或接近零之條件而致過於敏感，吾人將影像萃取門檻重新定義為 $\bar{\sigma}_n' = \max(\sigma_{min}, \bar{\sigma}_n)$ ，而前景與背景像素之判斷則改為：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \sigma_{n+1} > B \times \bar{\sigma}_n', \text{ then } p_{n+1} \text{ is foreground,} \\ \bar{p}_{n+1} = \bar{p}_n \text{ and } \bar{\sigma}_{n+1} = \bar{\sigma}_n \\ \text{if } \sigma_{n+1} \leq B \times \bar{\sigma}_n', \text{ then } p_{n+1} \text{ is background,} \\ (1) \text{ and } (2) \text{ are applied } \dots\dots\dots(4) \end{array} \right.$$

其中 σ_{min} 表示最小前景閾值且為一定值， $\bar{\sigma}_n'$ 係由 σ_{min} 和 $\bar{\sigma}_n$ 的最大值決定，上式 B 為平均變化量加成值，亦可視為統計學中的標準差之加成。值愈大，表示門檻提高，令前景之萃取較為嚴格。上述之參數 β 、 σ_{min} 及 B 係由吾人之經驗在不同的監視環境，針對影像處理手動微調至較佳之結果。

4. 形態轉換消除雜訊

由上述靜態與動態之飽和度過濾出的前景畫面中，不免包含許多雜訊，除了在背景中存在許多前景雜點，同時在前景區塊中也有許多背景雜點，吾人將利用三個形態轉換的步驟來消除以上雜訊。首先進行 2×2 的 FillHole 以消除前景區塊的空洞，使得前景較為完整；接著分別進行 Erosion 及 Dilation 二項轉換，來刪掉分

散之前景雜點，同時維持前景區塊的面積。圖 2 顯示形態轉換前後的飽和度前景畫格圖例，左圖為原圖，中圖及右圖分別為轉換前及轉換後。

5. 前景亮度分析

經過上述動靜態飽和度過濾及雜訊消除後得到的前景畫面中，仍可能包括一些非煙霧之物像，如圖 2 右圖所示，其左上角可看到一條應為背景的非煙霧前景物像。由於煙霧在自然光下屬於亮度較大之物像，因此相較之下此條前景物像的亮度顯見比較小。為了利用亮度濾除煙霧以外的其它前景，吾人將決定前景像素之最低亮度門檻值，首先統計煙霧影片所有畫格前景像素之數量及其亮度平均值與標準差，如圖 3 所示，由於煙霧影片前後段含有一些無煙與少煙的畫格，其前景像素多為雜訊而總數較少，另外有時會有異物或煙霧完全遮蔽鏡頭，使得前景像素數量突增，因此可藉由此數量排除太多及太少前景像素之畫格，僅留下適量前景像素的煙霧畫格進行分析，亦可方便未來產生警報之用。接著，吾人利用平均值以下 K 個標準差作為最低亮度門檻，以再次進行前景過濾，參數 K 的選擇必須以不影響煙霧前景區塊為原則，但能儘量消除非煙物像。圖 4 為使用亮度最低門檻過濾出的圖 2 之例的亮度前景圖，其左圖為過濾前，中圖為採用 $K = 2$ 過

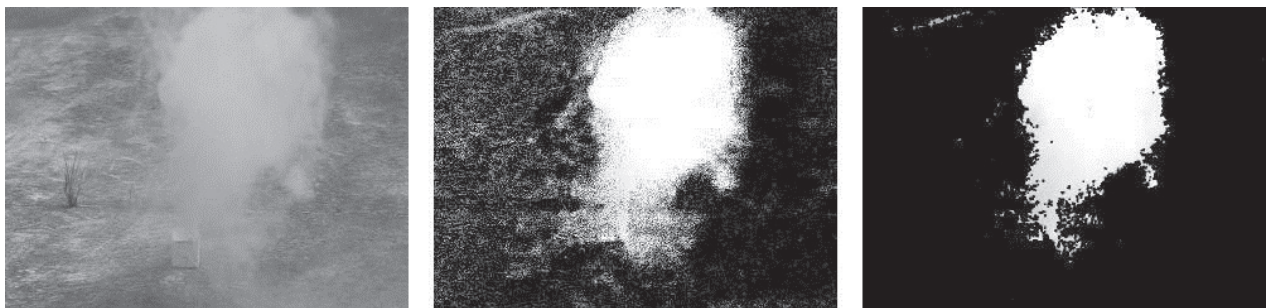


圖 2 形態轉換前後的飽和度前景畫格圖例

濾後，右圖則是採用 $K = 1$ 過濾後圖例。中、右圖可見左圖中非煙霧前景物像均被濾除掉，但是右圖之 K 值過小，亦即亮度門檻過大，其過濾出的亮度前景區塊，比較中圖顯示之濾出者，刪除太多而並不適當。

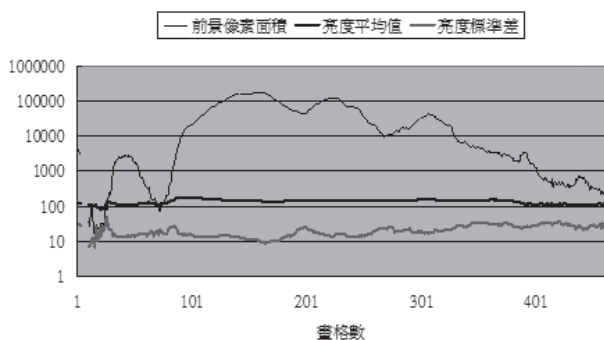


圖3 某例煙霧影片所有畫格之前景像素總量、亮度平均值及其標準差

辨識試驗

本研究利用已儲存的三個彩煙球煙霧施放影片檔進行辨識，以測試影像處理程式之成效，其部分場景畫面之辨識結果如圖5至圖7所示，每一影片檔隨時間增加各擷取三張畫格，圖中原影像置於各列之左方小圖，中間小圖則是經過飽和度動靜態萃取及形態轉換的亮度前景圖，而右方小圖顯示進一步亮度過濾後的亮度前景圖。此三組煙霧辨識例之參數在飽和度

過濾中均手動調整為一致：靜態萃取區間上下門檻為 $S_R = [0.06, 0.6]$ ，動態萃取的資料更新之權重、最小前景閾值、及平均變化量加成值分別為 $\beta = 0.1$ 、 $\sigma_{min} = 0.01$ 及 $B = 1.2$ 。至於亮度過濾門檻係藉由標準差倍數 K 所設定，則會因為煙霧釋放時的濃淡程度直接影響大小，一般而言，標準差愈小， K 值就應愈大，以濾除背景物像之像素。因此在三組例子中，皆以手動方式調整 K 值，並每次以0.5之值增量設定，使得軟體得以將雜訊濾除掉，而盡量保留煙霧的原始形狀，以達到最佳辨識例。影像辨識速率的快慢，在於濾出前景像素的多寡，此三例中平均每秒大約在三至四張畫格，以下就不同彩煙球施放的最佳辨識例進行說明與討論。

結果與討論

圖5為第一組辨識例畫面，煙霧釋放量較大，且大致飄向鏡頭方向，各畫格列中間小圖可見左上方之非煙霧前景物像，另外在黑色背景中存有許多前景雜訊。由於飽和度萃取出來的像素亮度標準差較小，因此 K 值調整為2.5，各畫格列右方小圖顯示出亮度門檻過濾後的亮度前景圖，該非煙霧前景物像與大部分前景雜訊都已經濾除掉，呈現較為完整的煙霧前景圖。



圖4 形態轉換前後的飽和度前景畫格圖例

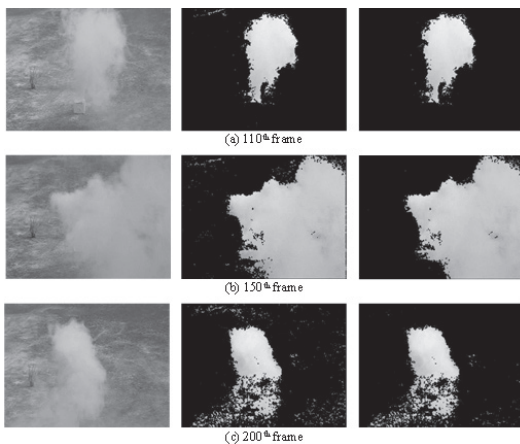


圖5 彩煙球煙霧辨識例一

圖6為第二組辨識例畫面，煙霧釋放量較小，且大致飄向畫面側方，各畫格列中間小圖可見黑色背景中右上方或右下方存有許多前景雜訊。由於飽和度萃取出來的像素亮度標準差較前例大，因此 K 值調整為1.5，亮度門檻過濾後的亮度前景圖顯示在各畫格列右方小圖，可見到大多前景雜訊都已濾除掉，亦呈現非常完整的煙霧前景圖。

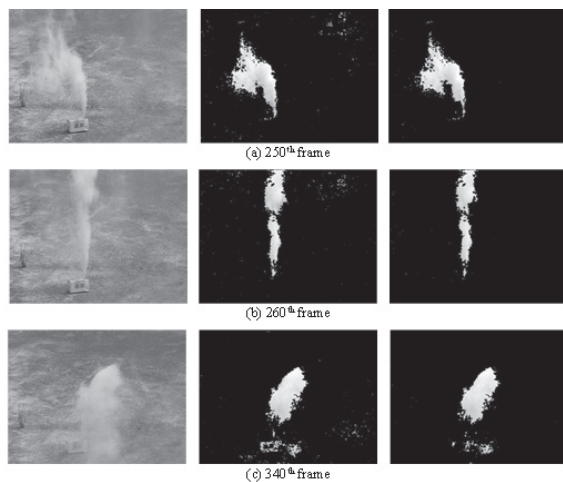


圖6 彩煙球煙霧辨識例二

圖7為第三組辨識例畫面，彩煙球置於中型紙箱內施放，本例煙霧量少，而由於出口較多，煙霧分散且淡，有一股稍濃的煙霧貼近地面且飄向畫面右方，各畫格列中間小圖黑色背景中大量的前景雜訊多為後方植物晃動的物像，由動態萃取所濾得。由於前景像素亮度標

準差較前二例均來得大，因此 K 值調整為1.0，亮度門檻過濾後的亮度前景圖顯示在各畫格列右方小圖，可見到大多前景雜訊都已濾除掉，但是仍有少數的雜訊依然存在，不過不致影響煙霧前景圖的完整性。

在圖7的辨識例中，畫面雜訊相對於前二例為多，究其原因在於本例煙霧施放之地點雖屬露天，但較為封閉，通風稍差。彩煙球置於紙箱內，散出箱外者大都屬於淡煙，充斥於場所空間中而擴散緩慢，其像素首先在飽和度動態過濾下，大多被濾除掉，但仍有不少被萃取出為前景，呈現滿天星斗的影像，而在亮度過濾中大部分被濾除掉，但仍有少數淡煙之像素雜訊保留了下來。

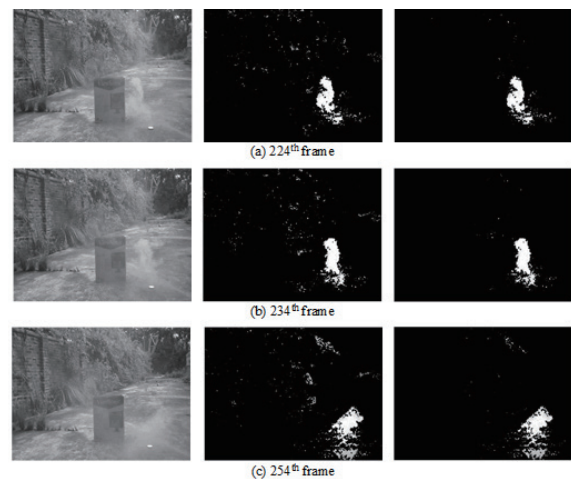


圖7 彩煙球煙霧辨識例三

在圖7的辨識例中，畫面雜訊相對於前二例為多，究其原因在於本例煙霧施放之地點雖屬露天，但較為封閉，通風稍差。彩煙球置於紙箱內，散出箱外者大都屬於淡煙，充斥於場所空間中而擴散緩慢，其像素首先在飽和度動態過濾下，大多被濾除掉，但仍有不少被萃取出為前景，呈現滿天星斗的影像，而在亮度過濾中大部分被濾除掉，但仍有少數淡煙之像素雜訊保留了下來。

本研究程式之辨識功能係在煙霧前景萃取

後，利用Particle Analysis之功能[11]，記錄畫面中所有前景物像。此功能使用Connectivity原理找出每一物像的左、上、右、下邊界以及像素面積，甚至質心座標均可計算得到，而其中像素面積最大者將被追蹤框鎖定。吾人可建立像素面積臨界值進行偵測，如圖8顯示，亦即若主煙霧面積大過設定之臨界值，警報將可立即發布。

未來研究的方向可在目前的基礎上，接續進行各參數量化的研究，以達到自動調整的程度；此外可加入前景像素之色相分析，並且整合至各項電腦視覺硬體設備，使其完全納入火焰及煙霧整合的辨識技術中，具有快速進行影像資料分析辨識的功能；最後辨識績效將進行煙霧警報發佈畫格數與煙霧存在畫格數之間的Precision/Recall分析，以驗證本研究開發之煙霧辨識運算法之優劣。

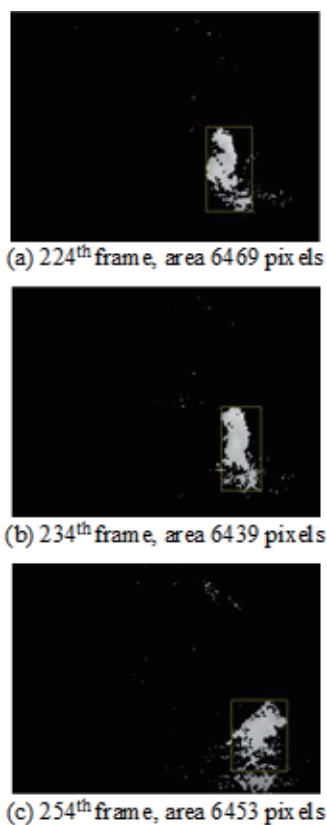


圖8 彩煙球煙霧辨識例三之主煙霧追蹤功能

結論

本研究藉由彩色影像之HSI屬性中飽和度與亮度進行彩煙球煙霧辨識，吾人首先利用飽和度上下限靜態萃取前景像素；接著以四項參數進行動態萃取變動之煙霧前景，同時消除大部分靜止的背景像素；再者採用三種形態轉換刪除背景中單獨前景像素，並且填補分散在前景區塊內空缺的背景像素，使之呈現較為完整的煙霧影像；最後藉由畫格中所有前景像素的亮度分析，決定出最小亮度門檻，進一步濾除殘存的雜訊物像，而得到較佳的煙霧影像辨識成果。本自動化電腦視覺火災警報設備之研發，相信可以提供公共安全或工業安全等領域之從業人員，在危險工作場所進行消防防護的一項有力的工具。

參考文獻

- [1] 行政院內政部消防署。各類場所消防安全設備設置標準。台北：消防署。取自網址：<http://www.nfa.gov.tw/>，2014年5月28日。
- [2] Gonzalez RC, Woods RE. Digital image processing 3/e. New Jersey: Prentice Hall; 2007.
- [3] Wu MY, Han N, Luo QJ. A Smoke detection algorithm based on discrete wavelet transform and correlation analysis. Proceeding of the 4th International Conference on Multimedia Information Networking and Security; 2012 Nov 2-4; Nanjing, China. 2012: 281-4.
- [4] Chen J, Wang Y, Tian Y, Huang T. Wavelet based smoke detection method with RGB Contrast-image and shape constrain. Proceeding of Visual Communications and

- Image Processing; 2013 Nov 17-20; Kuching, Malaysia. 2013: 1-6.
- [5] Torabnezhad M, Aghagolzadeh A, HadiSeyedarabi H. Visible and IR image fusion algorithm for short range smoke detection. Proceeding of the 1st International Conference on Robotics and Mechatronics; 2013 Feb 13-15; Tehran, Iran. 2013: 38-42.
- [6] Song L, Wang B, Zhou Z, Wang H, Wu, S. The research of real-time forest fire alarm algorithm based on video. Proceeding of the 6th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics; 2014 Aug 26-27; Hangzhou, China. 2014: 106-9.
- [7] Labati RD, Genovese A, Piuri V, Scotti F. Wildfire smoke detection using computational intelligence techniques enhanced with synthetic smoke plume generation. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems 2013; 43: 1003-12.
- [8] Arslan I, Alkar AZ. Real-time wildfire smoke detection on moving camera. Proceeding of the 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference; 2014 Apr 23-25; Trabzon, Turkey. 2014: 1203-6.
- [9] Collins RT, Lipton AJ, Kanade T. A system for video surveillance and monitoring. Proceedings of the 8th International Topical Meeting on Robotics and Remote Systems; 1999 Apr 25-29; Pittsburgh, PA, USA. 1999: 25-9.
- [10] Pu YR, Lee SH. Study of smoke detection by analysis of saturation in video. Proceeding of the International Conference on Fluid Power and Mechatronics; 2011 Aug 17-20; Beijing, China. 2011: 169-72.
- [11] National Instruments Corporation. IMAQ vision concepts manual. January 2005 Edn. Part No. 372916D-01. Austin, TX: The Corporation; 2005.

Research Articles

Study of Smoke Recognition by Computer Vision Using Saturation and Intensity

Yong-Ren Pu¹ An-Chien Shih¹ Su-Hsing Lee¹

¹ Department of Occupational Safety and Health, Chang Jung Christian University

Abstract

Fire detection has evolved with a long history. Those traditional heat and smoke detectors utilize, respectively, the heat and smoke produced by fire to react. While the flame detectors absorb IR/UV emitted from the flames and trigger if it gets to a certain level of intensity. Most of the above mentioned detectors are just elements of a complicated electrical alarm system. They can not be installed to operate by their own. Moreover, they tend to react late or erroneously by environmental interference because of the limitations to their operational principles. Most fires create a great amount of smoke in the initial stage. When it pervades all over the space, people can then be aware of the situation from a distance. Recently the cost of computer vision products has been decreasing in a great deal, which brings many applications in this field. It has been an obvious stream to use CCDs to directly detect the visible light of fires and smoke. This research will develop smoke detection software by a graphical programming language, which grabs the images of a workplace with smoke emitted. By transforming RGB color system to HSI system and filtering noises by changing pixels, the software is able to recognize the smoke foregrounds in each video frame. Next, the analysis of the intensity distribution of the foregrounds is performed subsequently. The manual finding of the features is to further eliminate the noises that are left during the previous filtration. Finally, the largest smoke foreground in the filtered image will be locked up by a tracking frame. Therefore, the software can accurately determine the real smoke.

Keywords: Smoke, Saturation, Intensity, Image processing, Computer vision

Accepted 23 December, 2014

Correspondence to: Yang-Ren Pu, Department of Occupational Safety and Health, Chang Jung Christian University,
E-mail: yrpu@mail.cjcu.edu.tw