

基於紅外光源之駕駛者眼球偵測系統

Using IR Illuminator for Driver's Eye Detection System

陳永祥

Yung-Hsiang Chen

本文提出應用紅外線光源於駕駛者疲勞偵測方法，利用紅外線光源及攝影機拍攝駕駛者眼睛偵測開合狀況判斷疲勞程度。藉由紅外線光源對瞳孔和虹膜對紅外光吸收率的顯著差別而得到瞳孔影像，再藉由影像處理區域改變，得到駕駛者在一定範圍內偵測眼球活動、追蹤分析眼瞼狀態和眼球眨眼的注視位置。最後，經由統計處理得到瞳孔大小的最大值和即時的瞳孔閉合百分比，同時利用 SVM 分類器方法判斷駕駛者的疲勞程度。

This paper presented a using IR illuminator for driver's eye detection system. The device uses IR illumination and camera acquires the eyes of driver to detect opening or closing driver drowsiness detection. The IR illumination creates the bright pupil effect which creates a nearly perfect circle. The system searches, tracks and blinks for the eyes location in each frame. Finally, detect the size of pupil and opening or closing driver eye and classify driver drowsiness using SVM classification.

一、前言

在交通事故大幅增加的今天，因疲勞駕駛引發的事故占很大比例，世界各國都非常重視這一問題。對於需長時間開車的駕駛員來說，注意力不集中、易打瞌睡更是行車當中最常發生的危險狀況！該如何有效避免意外發生，提升人民生命安全，已成為大眾所關心的議題。而且，汽車事故中，大多數的主要原因是駕駛者的失誤造成的，如果能夠即使掌握駕駛員的狀態，就能有效地防止因疲勞駕駛導致的交通事故。有鑑於此，本文研究偵測駕駛員眼睛張合狀態的監視裝置，透過駕駛員監視攝影機

和影像處理，檢測出駕駛員上下眼瞼的位置，從而通過位置關係判斷其張合程度。因此，當駕駛者未能面向正面、閉眼的狀態發生時，就需要自動發出警報，以減少交通事故等情況發生。

二、文獻探討

駕駛者疲勞偵測方法主要關鍵在於眼睛位置，判別眼睛狀態。一般做法為對人臉膚色進行膚色分割，將各種顏色與以分類設定閾值，對不同的顏色做選擇性的過慮，或是對不同膚色做膚色分析，建立起膚色相關資料，將來有類似的顏色就判斷

為膚色，用膚色為判斷的目標，將臉部和背景區隔出來，常見的顏色空間如正規化 RGB、YIQ、HSV、HSI、HSL 等。此方式易受背景影響判別結果。

關於人臉識別，可用樣板匹配的方式，用已知的樣板和經過處理的影像作交錯相關性相似程度高的會被顯示出來，以此為依據找出人臉⁽²⁾。人的臉部大都呈現橢圓的形狀，所以可以透過不同大小的橢圓樣板來找出人頭。也有研究使用多台攝影機攝影，運用運算方式上的不同組合成 3D 影像，由 3D 影像偵測人臉。以影像建立豐富資訊來判斷攝影機前有人臉的存在。然而，此架構下需要有多台攝影機，會造成程式運算上的負擔。

人臉分割取出方法研究中，主要以臉部動作姿態最為與電腦溝通的人機介面之用和以生物特徵利用最小分類錯誤法 (minimum classification error method, MCE) 形成一新的函數，並以後續的數值搜尋演算法求得最佳解。亦可用人工智慧判別一類神經網路方式大量學習人臉部影像的特徵，再用學習過的類神經網路和影像作比對，但如果訓練學習的樣本不夠完備，很容易發生判斷誤差。如 Mitsukura⁽²⁾ 和 Rowley⁽³⁾ 都是利用這樣的方式。

主成份分析 (principal component analysis, PCA)，概念是原始資料空間中，找出依個具代表性的子空間。資空間由主成分中的原始資料以線性轉換形成，原始資料投影在此子空間內，仍保有其主要分布型態。Turk⁽⁴⁾ 以主成份分析來辨識人臉身份，分為兩部份首先進行事前的訓練部份，利用人臉訓練樣本間的差異求得特徵空間。而特徵空間是由彼此線性獨立的特徵向量所構成，且特徵向量的線性組合可以表現原來的人臉訓練樣本。

人臉特徵的擷取研究方法中，利用人臉五官的輪廓及相對距離做為特徵值尋找眼睛是現行研究中最常使用的方法，如即是利用人臉中的唇形、臉型輪廓、臉部各器官的相對位置及口鼻寬度等，搭配類神經網路的學習機制。運用臉部五官的相對位置去推演出許多運算式，定位出眼睛，建立眼睛樣板亦是另一種方式，可得到瞳孔、眼角、上下眼瞼及眼眶中心等重要特徵使用樣板擷取這些資訊，其進行方式是先用虹膜樣板找出虹彩才在鄰近區域尋

找眼瞼。Kawato⁽¹⁾ 利用圓頻率濾波器去找兩眼中心，可以發現以雙眼中心所畫的圓，圓上像素以最上方的像素為起點順時針看這些像素的灰階值，近似一個雙週期的弦波，運用這樣的特性，再結合樣板比對可以找到人臉影像雙眼中心。

唇色在臉部也是很特別的顏色空間，利用前述提及的顏色分割找出屬於唇色的色彩空間，把嘴唇區隔出來，進一步定位出嘴唇的位置。將雜點去除後，再取得所有區塊範圍和面積大小，最後則選取面積最大且呈現水平長方形者即為嘴唇特徵。眼睛區域相對於人臉膚色在色調上往往都較為陰暗，利用灰階後的影像可大幅減少對色調及飽和度的依賴，再訂定一門檻值即可將眼睛從人臉中區隔開來。結合嘴唇特徵的重心點和每個為眼睛可能物件重心點作條件判斷，即可定位出人眼位置。

本研究提出的駕駛疲勞偵測方法，係藉由紅外線光源對瞳孔和虹膜對紅外光吸收率的顯著差別，藉由影像處理區域改變，得到駕駛者在一定範圍內活動時追蹤眼睛，擷取眼瞼和偵測駕駛者眼睛閉合狀況判斷駕駛者的疲憊程度。此一方式能解決對於光源分佈不均造成判別結果不佳情形，並得到紅外線光源對眼睛反射的影像。加上整體裝置紅外光源的製作成本不高，可以增加眼睛偵測準確性的問題、提升眼睛影像擷取的品質，並可以應用於夜間使用的優勢。

三、外線光源駕駛員疲勞偵測方法

本文提出駕駛疲勞偵測方法，擷取眼睛偵測駕駛者眼睛閉合狀況判斷疲勞程度。原理是利用紅外線光源對眼睛反射特性來達成駕駛者疲勞偵測，本研究利用紅外線光源搭配攝影機就可達成紅外線光源駕駛者疲勞偵測方法。

如圖 1 所示，為紅外線光源駕駛疲勞提醒方法系統架構圖。其中，駕駛者眼睛經由紅外線光源照射後，由於瞳孔與虹膜兩者對於紅外線的吸收率有顯著的差異，此差異亦會被攝影機所攝得。又攝影機擷取駕駛者影像成像於顯示裝置上，而影像處理裝置處理得到眼睛資訊後，可進行判斷駕駛者的疲勞程度。此外，紅外線光源可由紅外線發光二極體

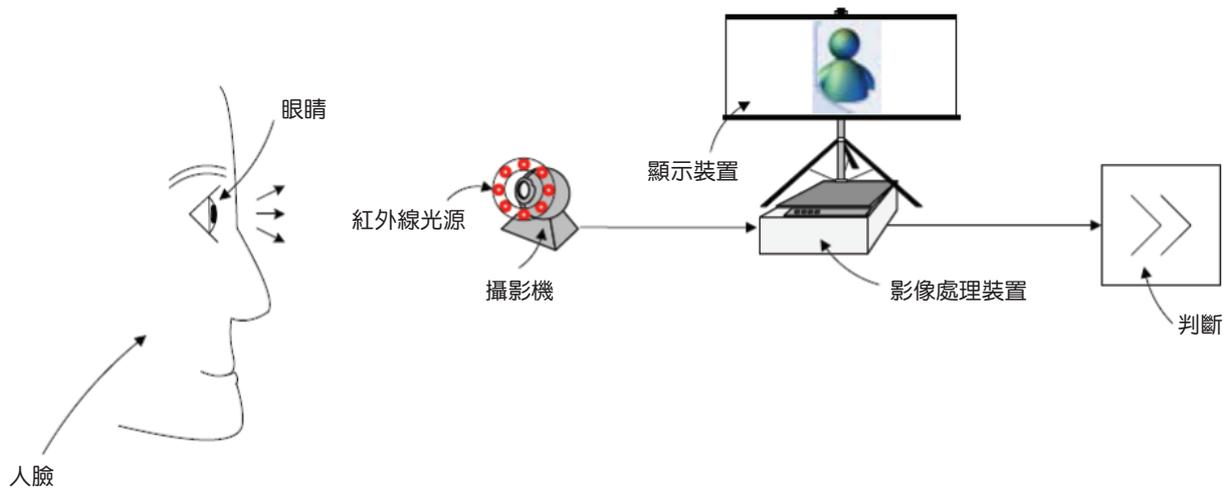


圖 1. 紅外線光源駕駛員疲勞偵測方法系統架構圖。

組成陣列，或如圖 1 所示在攝影機周圍排列成圓環狀。

如圖 2 所示，為紅外線光源駕駛者疲勞偵測影像處理狀態機圖，可概分為搜尋、追蹤及眨眼三種模式。首先，大致就圖 2 作概括的說明。於圖 2 中，當初始狀態結束後，即進入搜尋模式，如未偵測到眼睛則本研究持續的處於搜尋模式；若偵測到眼睛，則由搜尋模式進入到追蹤模式，追蹤眼睛的

位置。如在追蹤模式中沒有偵測到眼睛，則本研究進入眨眼模式。於眨眼模式中會記錄眨眼次數 (即未偵測到眼睛的次數)，如眨眼次數超過預設值，則本研究進入搜尋模式；如眨眼次數未達到預設值，則本研究回到追蹤模式，透過眨眼模式可以判斷駕駛員的疲勞程度。以下將針對圖 2 的搜尋模式、圖 3 的追蹤模式、以及圖 4 的眨眼模式，作進一步的說明。

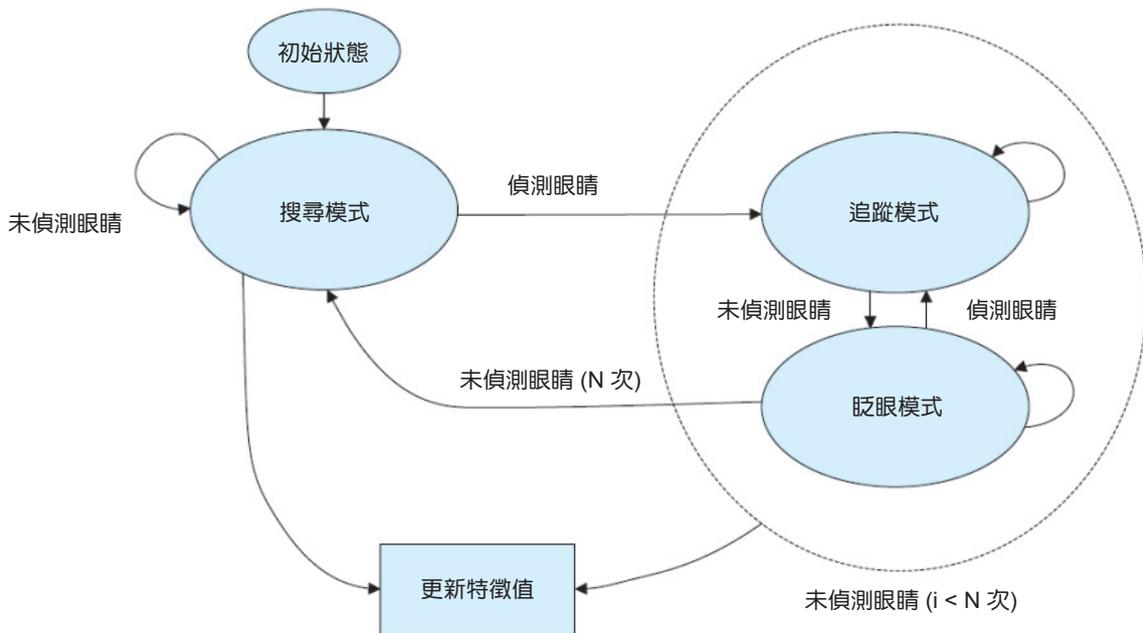


圖 2. 紅外線光源駕駛者疲勞偵測影像處理狀態機圖。

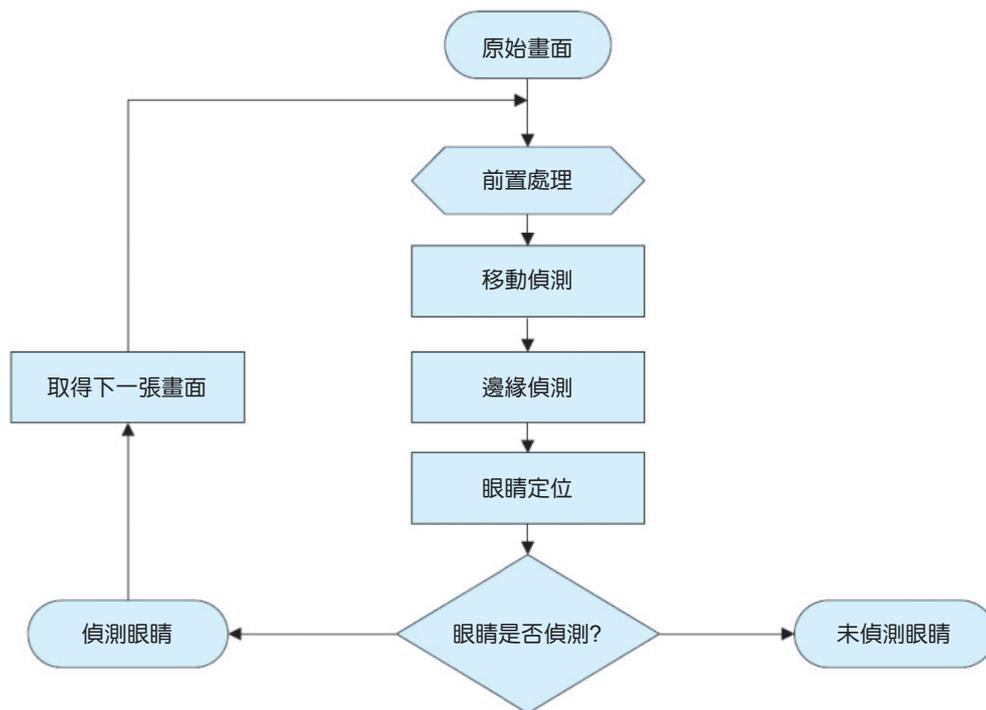


圖 3. 搜尋模式處理流程圖。

1. 搜尋模式

如圖 3 所示，為搜尋模式處理流程圖。搜尋模式處理流程為開啟紅外光源及攝影機拍攝駕駛者眼睛，通常會得到整個駕駛者的面部影像畫面。若未加紅外光源，則會由於拍攝光線不足而無法對影像進行處理、判讀。而搜尋模式中的影像前置處理的步驟係在於消除拍攝影像的雜訊，達到強化駕駛者

眼睛特徵功能。移動偵測在於粗略定出駕駛者眼睛位置，邊緣偵測處理之後將得到駕駛者人臉輪廓特徵值。

透過邊緣偵測處理可以很明顯的看到睜開的眼睛有眼珠的存在，再利用霍氏轉換 (Hough Transform) 演算法對眼睛做「套圓」的動作，一旦為睜眼狀態便可以利用「套圓」搜尋到眼珠，閉眼

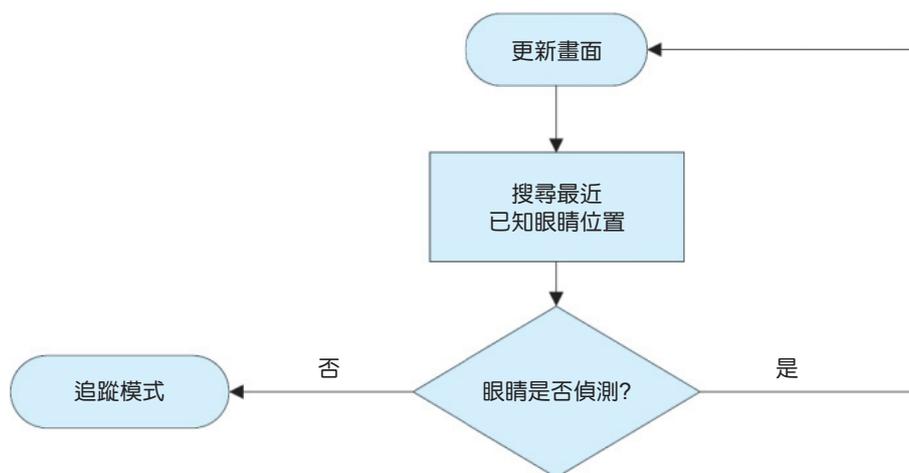


圖 4. 追蹤模式處理流程圖。

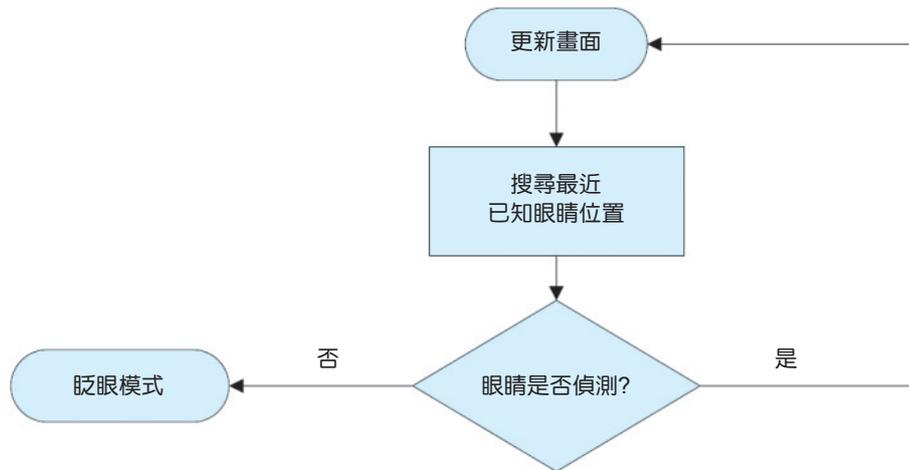


圖 5. 眨眼模式處理流程圖。

則否，故可輕易判別使用者的睜眼、閉眼狀態。並經過眼睛定位出駕駛者眼睛的可能位置。

最後，判別是否偵測到眼睛？若偵測到駕駛者眼睛的位置，則進入追蹤模式處理流程並取得下一張畫面再行判讀。反之，若未偵測到駕駛者眼睛，本系統會不斷執行搜尋動作，直到搜尋到駕駛者眼睛。

2. 追蹤模式

如圖 4 所示，為追蹤模式處理流程圖。首先是更新畫面的步驟，意即拍攝目前畫面搜尋最近已知眼睛位置與上一張畫面偵測到的駕駛者眼睛做比較，詳言之，即在更新畫面開始後，拍攝一新的畫面，並將此新畫面與之前最近的一次的舊的畫面互相比較，若新畫面兩眼距離與舊畫面兩眼距離，兩者相差於設定像素值表示駕駛者未瞌睡。最後，判別眼睛是否偵測到？若未偵測到駕駛者眼睛，進入眨眼模式處理流程判讀目前駕駛者進入瞌睡判別處理、即眨眼模式。反之，若偵測到駕駛者眼睛，會持續的執行追蹤動作，更新畫面，直到未搜尋到駕駛者眼睛。

3. 眨眼模式

如圖 5 所示，為眨眼模式處理流程圖。其中亦進行更新畫面的步驟，意即拍攝目前畫面搜尋最近已知眼睛位置與上一張畫面偵測到的駕駛者眼睛做

比較，若未偵測到駕駛者眼睛，此時會記錄未偵測到眼睛的次數、即眨眼次數 i ，並進入眨眼模式處理流程判讀目前駕駛者進入瞌睡判別處理。在這裡所述的更新畫面的步驟可以說是與追蹤模式重疊的，然而一但沒有偵測到眼睛則會進入眨眼模式的瞌睡判別處理。於瞌睡判別中，若眨眼次數 i 小於一預設的眨眼次數 N ，則回到更新畫面的步驟；若眨眼次數 i 大於預設的眨眼次數 N ，則進入之前所述的搜尋模式。此外，當眨眼次數 i 小於一預設的眨眼次數 N 而回到更新畫面之時，爾後若又未偵測到眼珠，則回到該眨眼模式的紀錄眨眼次數。

4. 判斷駕駛者疲勞狀況

本研究於定位出人的眼部位置之後，透過系統偵測出使用者在睜眼與閉眼的不同情況，以眼睛中心點計算最亮點像素佔全部駕駛者眼睛比例，作為區別使用者睜眼與閉眼的判別。

但因為眼睛區塊搜尋精確度不易穩定，為了讓可能的區塊有更高的判斷結果，在本研究中另提供了一種引用了支撐向量法 (support vector machine, SVM) 做最後的瞌睡驗證的實施例。支撐向量法在近幾年來是一個相當成功的分類器，此分類器將在低維度的資料無法簡單的分類問題，映射到高維度空間，在高維度空間內，以線性可分割的問題加以分類。假設現在已知有 N 個訓練資料 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$ ， x_i 其中是一個 d

維度的特徵向量 ($x_i \in R^d$)， y_i 屬於正例或反例 ($y_i \in \{\pm 1\}$)，我們希望得到一分類器 $f(x) = \text{sign}(w \cdot x - b)$ 能有效的將 N 個訓練資料分成兩類。

在 2 維平面中，點 (x_0, y_0) 與直線 $Ax + By + C = 0$ 的距離為 $\frac{|Ax_0 + By_0 + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}}$ ，利用此想法， H_1 平面上的點與 $H: y = w \cdot x - b = 0$ 之距離為 $\frac{|w \cdot x - b|}{\|w\|} = \frac{1}{\|w\|}$ ，相同的， H_2 平面上的點與 H 之距離亦為 $\frac{1}{\|w\|}$ ，所以， H_1 與 H_2 之距離為 $\frac{2}{\|w\|}$ ，因此，為了讓 $\frac{2}{\|w\|}$ 最大，我們將可轉化為求得 $\|w\| = w^T w$ 最小的情況下，即可得最佳的分類器。可用下列公式表式：

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} w^T w, \quad \text{subject to } y_i (w \cdot x_i - b) \geq 1 \quad (1)$$

式 (1) 為一在凸集中二次方程式問題，Borges 導入 Lagrange 的乘數 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N \geq 0$ ，希望利用這些乘數來表示 w 及 b ，得到式 (2)：

$$L(w, b, \alpha) \equiv \frac{1}{2} w^T w - \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i (w \cdot x_i - b) + \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (2)$$

分別對式 (2) 中 w 及 b 做一次偏微分，可得 w 及 b 的極值 (偏微分等於 0)， $w = \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i x_i$ 及 $\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0$ 兩式，代回式 (2) 將 w 及 b 替換掉，可得式 (3)：

$$L(w, b, \alpha) \equiv \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} (\alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j)) \quad (3)$$

在求得乘數 α_i 後， w 及 b 即可順利求得，所以對於任何欲分類的新資料 x ，我們可利用式 (4) 予以分類。

$$\begin{aligned} f(x) &= \text{sign}(w \cdot x + b) = \text{sign}\left(\left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i x_i\right) \cdot x + b\right) \\ &= \text{sign}\left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i (x_i \cdot x) + b\right) \end{aligned} \quad (4)$$

由式 (3) 及 (4) 中，不難只須計算 x_i 與 x 的內積即可判斷出 x 是屬於正值或負值。

由於本研究的問題只有兩類睜眼/閉眼，使用兩類之線性可分割支撐向量法加以處理。利用此特性，找到可能是駕駛者眼睛位置，往外擴張一定距離，找到一個能框選人眼的影像，並正規化成一定大小，再送入支撐向量機器內進行分類。在使用支撐向量機器之前，必須先對機器加以訓練。首先，先以人工的方式，切割出睜眼與閉眼的區塊，並將這些影像正規化成同樣像素大小畫面，送入支撐向量機器內加以訓練參數並儲存。在本系統判別出駕駛者的睜眼與閉眼情況後，則進行瞌睡判別的處理，若使用者出現連續閉眼且超過預設門檻值範圍的情況，本系統判定使用者已呈現打瞌睡狀態。

四、實驗結果

本文提出駕駛疲勞偵測方法，擷取眼睛偵測駕駛者眼睛閉合狀況。圖 6 為搜尋模式處理結果 (a) 攝影機拍攝得到的影像 (b) 攝影機加紅外線光源拍攝得到的影像 (c) 邊緣偵測結果 (d) 搜尋可能眼睛位置 (e) 搜尋到眼睛位置。系統一開始會進行搜尋模式處理，開啟紅外光源及攝影機拍攝駕駛者眼睛，得到圖 6(a) 所示影像畫面。一般未加紅外光源的影像畫面如圖 6(b)，由於拍攝光線不足，對影像處理無法進行判讀。影像前置處理工作在於消除拍攝影像的雜訊，達到強化駕駛者眼睛特徵功能。移動偵測在於粗略定出駕駛者眼睛位置，邊緣偵測處理結果如圖 6(c) 所示，得到駕駛者人臉輪廓特徵值。

在邊緣偵測處理後可以很明顯的看到睜開的眼睛有眼珠的存在，再利用 Hough Transform 演算法對眼睛做「套圓」動作，一旦為睜眼狀態便可以利用「套圓」搜尋到眼珠，閉眼則否，故可輕易判別使用者的睜眼、閉眼狀態。經過眼睛定位出駕駛者眼睛位置可能位置如圖 6(d) 所示。

最後，判別眼睛是否偵測到？若偵測到駕駛者眼睛位置標示於圖 6(e)，進入追蹤模式處理流程並取得下一張畫面再行判讀。反之，若未偵測到駕駛者眼睛，會不斷執行搜尋動作，直到搜尋到駕駛者

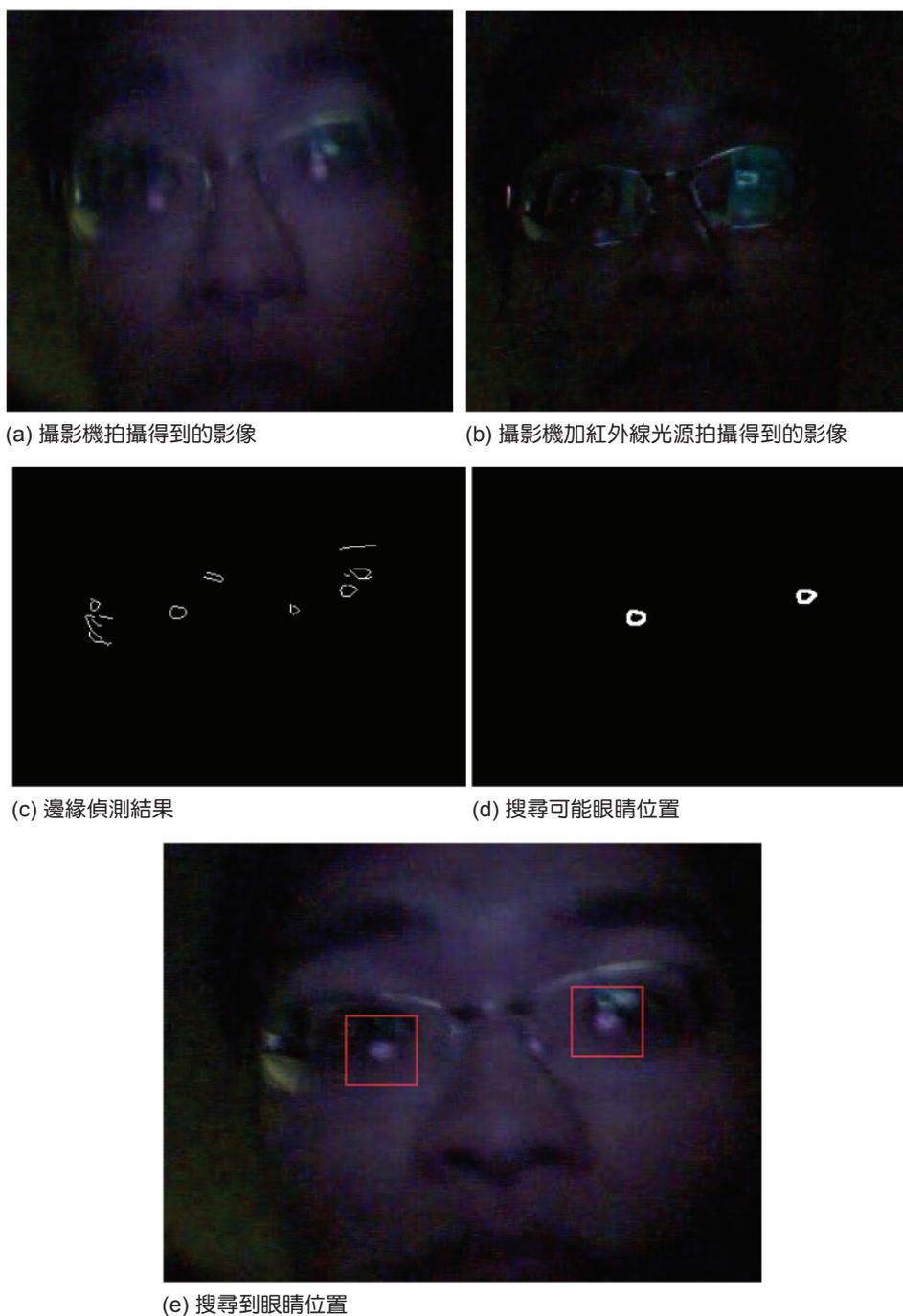


圖6. 搜尋模式處理結果。

眼睛。

追蹤模式處理流程為更新畫面拍攝目前畫面搜尋最近已知眼睛位置與上一張畫面偵測到的駕駛者眼睛做比較，實驗結果如圖 7 所示，得到目前駕駛者眼睛兩眼距離為 119.8541 pixels，上一張畫面兩眼距離為 118.0889 pixels，相差 1.7651 pixels 表示

駕駛者未瞌睡。

最後，判別眼睛是否偵測到？若未偵測到駕駛者眼睛，進入眨眼模式處理流程判讀目前駕駛者進入瞌睡判別的處理。反之，若偵測到駕駛者眼睛，會不斷執行追蹤動作，更新畫面，直到未搜尋到駕駛者眼睛。

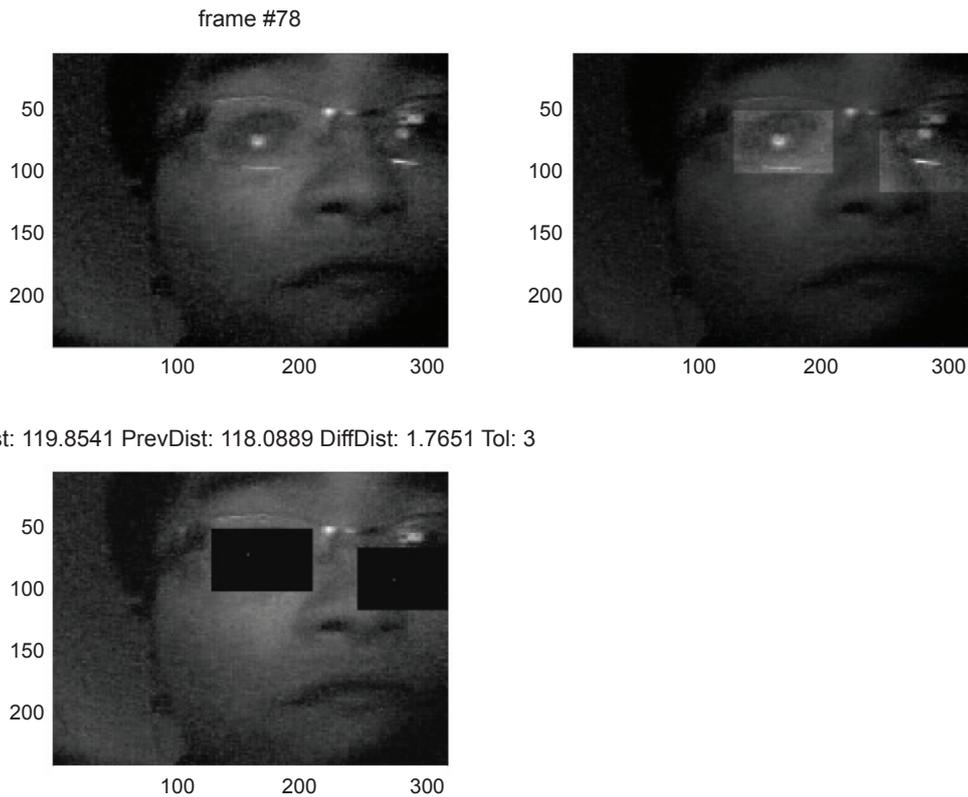


圖7. 追蹤模式處理結果。

眨眼模式處理流程為更新畫面拍攝目前畫面搜尋最近已知眼睛位置與上一張畫面偵測到的駕駛者眼睛做比較，判別眼睛是否偵測到？若未偵測到駕駛者眼睛，此時會記錄設定 N 次未偵測到眼睛眨眼次數，進入眨眼模式處理流程判讀目前駕駛者進入瞌睡判別的處理。若超過設定次數進入搜尋模式重新搜尋。反之，未達到設定次數會更新畫面重新搜尋最近已知眼睛位置。若偵測到駕駛者眼睛，會不斷執行追蹤動作，更新畫面，直到未搜尋到駕駛者眼睛。實驗結果如圖 8 所示，表示目前駕駛者眼睛處於眨眼狀況，需要進入眨眼模式處理流程判讀目前駕駛者進入瞌睡判別的處理。

定位出人的眼部位置之後，透過系統偵測出使用者在睜眼與閉眼的不同情況，以眼睛中心點計算最亮點像素佔全部駕駛者眼睛比例，作為區別使用者睜眼與和閉眼的判別，分別如圖 9(a)、(b) 及圖 9(c)、(d) 所示。

五、結論

本文提出應用紅外線駕駛疲勞提醒方法，擷取眼睛偵測駕駛者眼睛閉合狀況判別疲勞狀況，達到即時監督、警示駕駛員安全的功能，適時地警示駕駛員並提振其精神狀態，以防止駕駛員因打瞌睡而發生任何的交通意外。透過本系統的研究，為使駕駛員帶來更高的行車安全，防止因長途駕車的駕駛者因打瞌睡而造成交通意外事故，更能有效地降低交通意外事故，減少家庭人倫悲劇。未來可以把整個影像處理演算法整合於嵌入系統獨立執行以取代多工電腦，讓本研究的技術可以產品化與生活化，讓一般民眾更易於操作。對於整合其他生物辨識技術，提供更多元及彈性化。

參考文獻

1. Kawato, S. and Tetsutani, N., Circle-Frequency Filter and Its Application, *Int Workshop on Advanced Image Technology*, (2001).

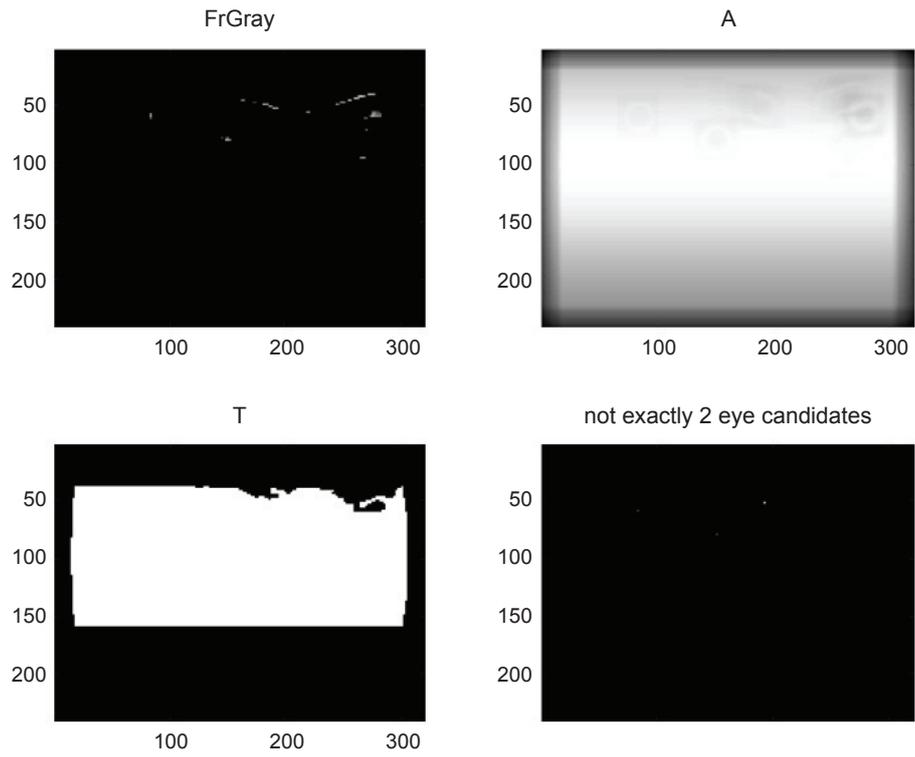


圖 8. 眨眼模式處理結果。

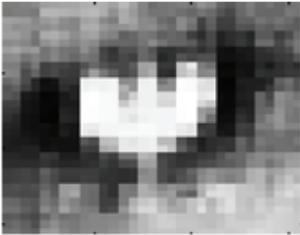
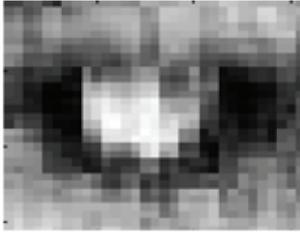
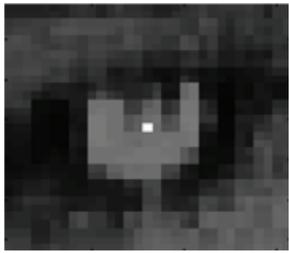
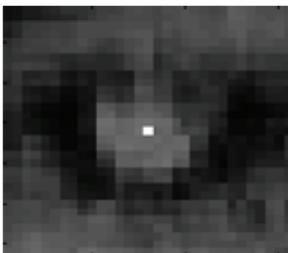
左眼	右眼
 <p data-bbox="523 1422 560 1456">(a)</p>	 <p data-bbox="1054 1422 1091 1456">(b)</p>
 <p data-bbox="523 1747 560 1780">(c)</p>	 <p data-bbox="1054 1747 1091 1780">(d)</p>

圖 9. 駕駛者的睜眼與閉眼情況。

2. Mastumoto, Y. and Zelinsky, A., Real-time Stereo Face Tracking for Visual Human Interfaces, *Proceedings. International Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Face and Gesture in Real-Time System*, 77 (1999).
3. Rowley, H. A., Baluja, S. and Kanade, T., Rotation invariant neural network-based face detection, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 38(1998).
4. Turk, M. and Pentland, A., *Journal of Cognitive Neuroscience*, **3** (1),71(1991).



陳永祥先生為國立彰化師範大學電機工程研究所碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副工程師。

Yung-Hsiang Chen received his M.S. degree in electrical engineering from National Changhua University of Education. He is currently an associate engineer at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.