

應用於駕駛人疲勞監控系統之眼睛辨識方法

翁銘聰 郭永源 劉景富
財團法人車輛研究測試中心
E-mail:mcweng@artc.org.tw

摘要

偵測駕駛人狀態或避免駕駛疏失之先進安全車輛技術為各國車安系統之發展重點。其中的疲勞偵測更是目前車電系統廠商,所極力搶攻的市場。本研究之主要目的,係透過一紅外線取像與投光設備,克服光源環境對系統影像產生之不良影響;並設計一眼睛遮罩與相對應之影像處理流程,並以便於低成本運算平台實現為考量來設計本研究之眼睛辨識演算法。目前系統於夜間公路駕駛環境下進行實驗,辨識率約為八成。

關鍵詞: 眼睛偵測、駕駛疲勞

1. 研究背景

近年來隨著智慧型運輸系統的發展,運用各項先進科技偵測駕駛人狀態或避免駕駛疏失之先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)技術已日益成熟。其中駕駛狀態監測的範圍相當廣泛,包括:疲勞偵測、情緒分析與生理健康監控(酒精濃度、血壓、心跳)等。其中疲勞偵測,更是目前車電系統廠商,所極力搶攻的市場。根據統計,在歐洲的所有交通意外事故中,有10%到20%的交通事故,是駕駛疲勞所引起的[1];在美國,每年有100,000件由駕駛疲勞所導致的交通事故[2]。因此,防範因駕駛疲勞所造成的交通意外事故,是格外重要的。

為偵測駕駛者是否疲勞,可量測如,腦波、心律、皮膚導電度等生理訊號[3][4]。上述的生理訊號,雖然用以判別駕駛人疲勞相當準確,但駕駛人必須穿戴電極等裝置以進行量測,使用上相當不便。有鑑於此,Dinges等人[8][9],利用PERCLOS(PERCentage of eyelid COLSure,意即“眼睛閉合程度”)來判斷駕駛者的疲勞。該研究係以腦電波圖(EEG)與PERCLOS作一比較;其結果證實,PERCLOS的表現與EEG有一高度正相關,而此一衡量標準也獲得美國聯邦所採用。在此架構下,許多研究者便開始以非接觸式的量測方式(如視訊影像等),來監測駕駛人是否疲勞。

要透過影像對駕駛人進行疲勞監控,首要的工作,便是在正確地擷取眼睛位置。相較於室內環境下的眼睛辨識,車用環境係一光源不穩定且多變的環境;在此環境下進行眼睛辨識,會受外部光源的干擾頗為嚴重,其主要來源為:太陽光、對向車燈、路燈以及無光源環境等。過去幾年中,許多國內外學者與研究計畫紛紛針對眼睛偵測的問題進行探討。

由美國Attention Technology公司與Robotics Institute, CMU(Carnegie Mellon University)所合作開發的DD850/CoPilot[5][6],是一半產品化的駕駛疲勞偵

測/警示系統;在影像技術方面,是利用亮/暗瞳效應[7]來抓取眼睛的位置;再透過對PERCLOS的分析,來判斷駕駛者是否有疲勞的狀況發生。

該系統之攝影機利用IR LED製造兩個環狀光源:內圈光源按固定頻率閃爍,造成亮瞳效應;外圈光源恆亮,負責照亮整個環境(臉部其他區域)。透過內圈光源的開/關所造成的亮/暗瞳影像進行處理,可將瞳孔位置精確的標定出來。

由澳洲Seeing Machines所開發的FaceLAB/DSS-R,是一研究分析用的駕駛疲勞偵測/分析系統。在影像技術方面,此系統採用一固定非閃爍式的IR LED光源,均勻照亮臉部與畫面環境的區域,再透過對畫面的分析,找出眼睛的位置。該系統具有一攝影機、兩個獨立IR LED光源與一台x86架構電腦;運作時,兩顆IR LED投光器各置於攝影機的左右兩側,並維持恆亮的狀態。

分析市面上所見的影像式駕駛疲勞偵測系統,尚無法於駕駛者穿戴眼鏡、墨鏡,以及白天或其他光源環境的情況下正常運作。

綜合以上分析,本研究之主要目的,係透過一紅外線取像與投光設備,以克服上述穿戴眼鏡/墨鏡與日夜間駕駛環境之光源干擾問題;並設計一眼睛遮罩,以便於DSP平台實現之眼睛辨識演算法。

2. 研究方法

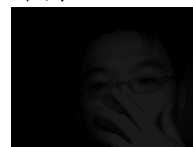
眼睛辨識為影像式駕駛人疲勞監控系統的關鍵功能,本文所提出的眼睛辨識演算法,是搭配一投光/取像設備,來減少影像複雜度以增進系統辨識效能,並適用於車用環境之眼睛辨識機制。本系統所採用之眼睛辨識方法,主要分做兩個部分:影像前處理與眼睛搜尋。影像前處理,係將日夜間等光源環境所造成之雜訊抹除,再透過眼睛樣版,針對畫面中眼睛區域進行搜尋與定位。以下先就投光/取像設備與眼睛辨識演算法進行介紹:

2.1 投光/取像設備

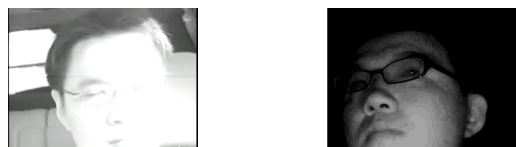
在車用環境進行駕駛人影像監控,並進行眼睛偵測,影響該系統辨識率的主要原因包括:日/夜間環境光源(日光、車燈與路燈等)、駕駛人配帶眼鏡/墨鏡與頭部轉動等。其影像畫面列舉如下圖1:



(a)配戴墨鏡



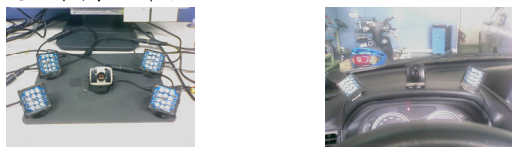
(b)夜間環境



(c)日間強光 (d)頭部轉動

圖 1 駕駛人影像畫面

為解決夜間光源不足的問題，本研究輔以一不可見之投射光源，來增加夜間的畫面品質。投光設備與攝影機架設如下圖 2 所示：



(a)投光設備 (b)攝影機架設

圖 2 投光設備與攝影機架設環境

本系統透過一組紅外線投光裝置，分置於攝影機的左右兩側，並對車內環境與駕駛人臉部進行打光；此項攝影與投光裝置，安置於車內駕駛座前方，並應盡量避免因方向盤操作所造成的遮蔽。經過本裝置所取得的車內環境影像如下圖 3：



改善前(無法穿透墨鏡)

改善後(可穿透墨鏡)

改善前(無法看到人臉)

改善後(人臉清晰可見)

圖 3 影像投光改善比較

由圖 3 結果可知，系統在經過投射光源的輔助後，能有效提升畫面的可視度，特別是在夜間的駕駛環境下，在經過投光的輔助後，畫面中的人臉部位已清晰可見，因而可進行眼睛辨識的處理程序。

2.2 眼睛辨識演算法

本研究之眼睛辨識演算法，係以在畫面中搜尋具眼睛特徵之圖像為主要依據，再搭配其他去雜訊與過濾篩選機制，以求出最後的眼睛位置。其流程圖如圖 4 所示：

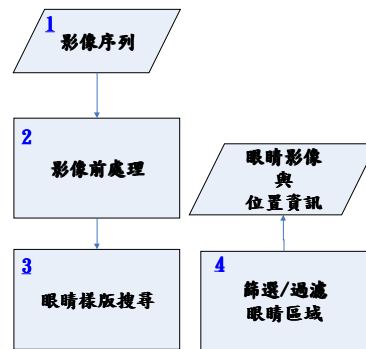


圖 4 系統處理流程圖

2.2.1 影像前處理

為避免雜訊 (Signal Noise) 所造成的影響，在畫面前置處理的步驟中，我們採用一簡單的低通濾波器 (Low-pass Filter)，來減低/消除畫面中雜訊所造成的影響。該濾波器的表示如下：(以 3x3 的大小為例)

$$O(i, j) = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n I(i+k-1, j+l-1)K(k, l),$$

$$\text{for } m = 3, n = 3 \text{ and } K(k, l) = \frac{1}{9}$$

如上式所示，其中 $O(i, j)$ 代表輸出影像上，座標點 (i, j) 的灰階度； I 代表所輸入的影像； K 表示影像遮罩 (mask)。上式係將輸入影像的像素點與遮罩的資訊，進行摺積 (convolution) 的運算。經過該濾波器處理後之畫面結果列舉如圖 5：



(a)均化處理前

(b)均化處理後

圖 5 影像均化處理結果

從以上處理結果可以發現，在經過簡單影像均化處理後，部分因眼鏡所產生的反光等高頻的雜訊訊號，已獲得濾除；這樣的處理結果，可減少日後系統誤判的發生。

2.2.2 眼睛樣版搜尋

為達有效且迅速的抓取眼睛的位置，透過對監控畫面的分析結果，我們可以知道眼睛 (瞳孔) 在影像中具有以下的特性：

1. 瞳孔在灰階影像中的灰階度，趨近於零。
2. 瞳孔的中心部位，較周圍為暗；且呈一圓形。

上述兩項特性可以圖 6 表示：

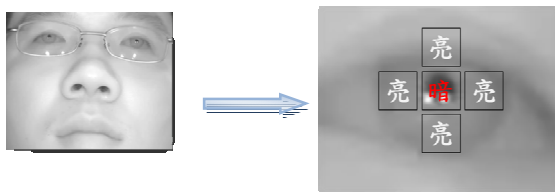


圖 6 眼睛樣版分析

基於上述眼睛樣版的概念，我們設計一固定大小的辨識遮罩，利用此遮罩對畫面逐一進行掃描，並計算此遮罩之中心與周圍共五個不同區塊的灰階度；當周圍區塊的平均灰階度較中心區塊的平均灰階度為亮，且中心區塊的平均灰階度接近 255 時，我們可斷定此區塊為眼睛的可能區域。透過眼睛樣版，對畫面搜尋的結果如圖 7：(紅點部位代表所擷取到的瞳孔位置)



圖 7 眼睛定位結果分析

從圖 7 的分析可知，雖然利用眼睛樣版已可大略搜尋到駕駛者眼睛的位置，但仍有些許的偵測失敗狀況需要考慮，如：將鼻孔誤判為眼睛等。

篩選/過濾眼睛區域

為克服上述的誤判情形，並增加系統的辨識正確性。我們在利用連通元件 (Connected Component Labeling) 的方法，將影像中所標式出的眼睛區域加以分析，已篩選出最終的眼睛區域。在連通元件中，我們採用八相鄰 (8-connectivity) 來定義像素與像素間是否具有連接性。如圖 8 所示， i 為影像掃描區塊的中心點位置； j 為中心點 i 的上下、左右與斜角位置上的任意鄰居點；若鄰居點 j 與中心點 i 的灰階度相同，則 j 與 i 相連。

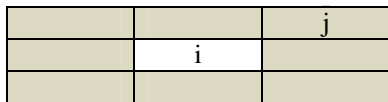


圖 8 八相連示意圖

在加速連通元件的執行速度，在實作上我們設計一區域號碼 (Region ID) 與像素資訊 (Pixel Info.) 的對應表。透過以下的方法對影像進行掃描，連通元件的演算法如下：

1. 對整張影像由上而下，由左而右進行掃描。
2. 若掃描到的像素 (x, y) 為背景時，記為 0。
3. 反之，若為前景，則利用對應表查詢四個相

鄰的像素點 (相鄰關係如圖 9) 是否有對應的區域號碼；若有，則把該點以鏈結長度最長的區域號碼進行標記；若無，則以新的區域號碼進行編號。

4. 掃描結束後，我們可從對應表得到連通元件。

$(x-1, y-1)$	$(x+0, y-1)$	$(x+1, y-1)$
$(x-1, y+0)$	$(x+0, y+0)$	$(x+1, y+0)$
$(x-1, y+1)$	$(x+0, y+1)$	$(x+1, y+1)$

圖 9 八相連掃描點

經過連通元件標示後的圖像如圖 10 所示 (以不同的顏色表示不同的區域)：

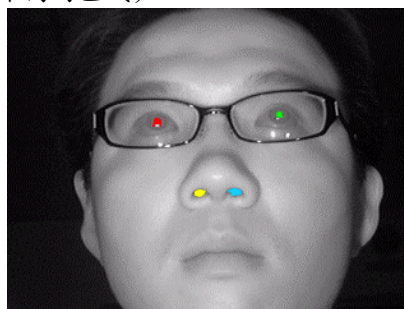


圖 10 連通元件執行結果

在完成連通元件的區域標示後，我們利用各區域之間的幾何關係進行篩選，例如：在標定區域 1 的中心點位置後，我們會以適當的距離當作搜尋半徑，檢視畫面中在此半徑範圍內是否存在其他區域 (區域 2、區域 3)；若有，則剔除該區域 (區域 1) 與所搜尋到的區域 (區域 2、區域 3)。篩選的方法，如圖 11 所示：

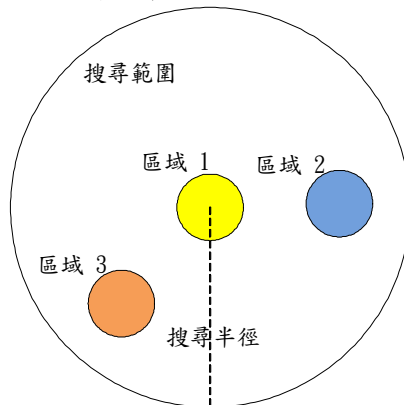


圖 11 篩選方法示意圖

經過篩選眼睛區域的執行結果如圖 12：

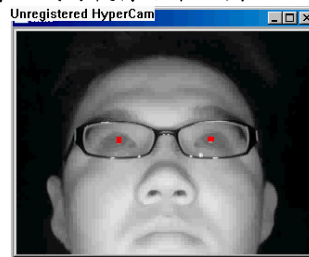


圖 12 篩選過濾結果

3. 研究結果

在車用環境進行駕駛人影像監控，並進行眼睛偵測，影響該系統辨識率的主要原因包括：日/夜間環境光源（日光、車燈與路燈等）、駕駛人配帶眼鏡/墨鏡與頭部轉動等。經上述影像處理與判別機制處理後，本研究之眼睛辨識結果如下：

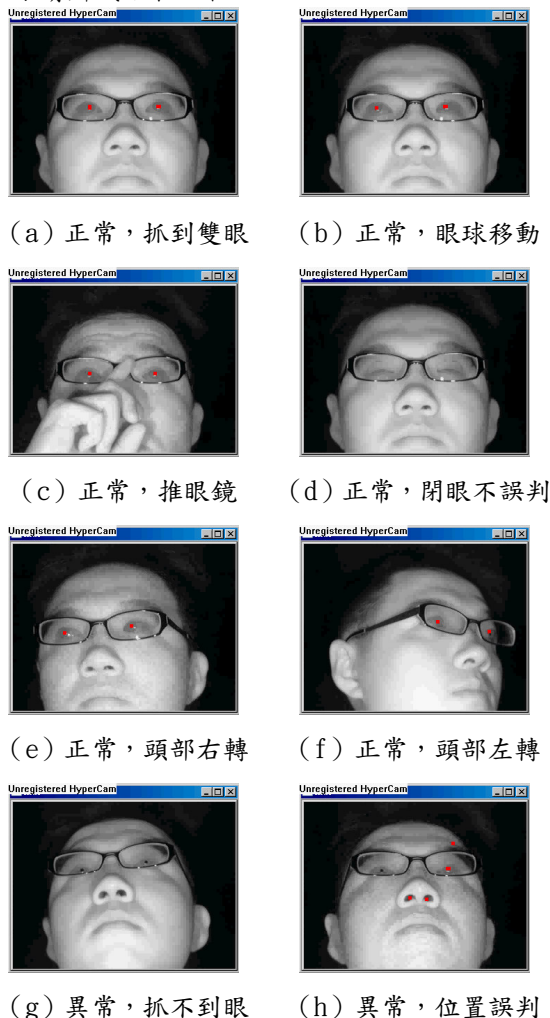


圖 13 眼睛偵測結果

從上述偵測結果可以發現，本研究雖然已可自影像上得到一眼睛瞳孔的位置，但仍有以下情況尚須克服：

頭部轉動/眼球移動角度過大

當駕駛者頭部轉動與注視方向脫離攝影機的可視範圍而造成眼睛在影像中的呈像不足時，會造成瞳孔不明顯的情形發生，因此會造成系統抓不到駕駛者眼睛的狀況。

光源環境變化過大

當有車外光源（白天、路燈或來車車燈）照入車內時，也容易造成瞳孔不明顯的影像產生，因而容易造成系統的誤判。

穿戴墨鏡

當駕駛者有穿戴有色眼鏡時，亦會造成眼睛灰階度值的改變，進而造成瞳孔不明顯的狀況發生。

本系統架構於 WindowsXP 實驗平台，系統硬體為

AMP XP2500 與 512MB 記憶體，影像處理速度為 23fps。系統於夜間的公路駕駛環境下進行實驗，辨識率達 80%。

4. 結論

歸納上述系統誤判之情形，乃因於本系統之輸入影像為灰階度影像，且所設定之門檻值須幾經實驗歸納。因此在日的研究重點，將再於辨識度的提升與如何設計一具強健性之演算法，以改善系統的辨識率。

另外，疲勞監控系統，旨在建立一套對車內駕駛疲勞情況進行監控與警示之系統，其系統功能可包括：疲勞警示與注意力警示等。日後要施行這些技術，能否對人臉的五官進行偵測分析是其關鍵技術所在；要發展此關鍵技術，需有以下考量：

1) 人臉知識庫的建立：

將如何辨識五官以及它們的相對位置、特性等特徵進行系統化地描述。

2) 各種天候條件與光源環境對系統的影響：

車用影像辨識技術最大的挑戰，來自於光源對影像的影響。主要的影響成因包括：太陽、路燈、車燈與地圖燈等。這些光源的介入，或多或少都會在某些程度上影響影像的品質，進而影響系統辨識的正確性與穩定性。

3) 駕駛者的影響：

駕駛狀態監控系統，其目標物是駕駛者本身，駕駛者若配戴眼鏡（墨鏡），也會影響到系統的判斷。

本研究旨在發展一駕駛疲勞監控用之影像擷取系統，並配合相對應之演算法，期望可為日後發展駕駛人監控技術有所助益。

5. 致謝

感謝經濟部技術處科技專案支持此系統，協助車輛中心完成此計劃。

6. 參考文獻

- [1] Awake Consortium (IST 2000-28062), *System for effective assessment of driver vigilance and warning according to traffic risk estimation (AWAKE)*, Sep. 2001-2004.
- [2] D. Royal, "Volume I-Findings report; national survey on distracted and driving attitudes and behaviors, 2002", The Gallup Organization, Washington, D.C., Tech. Rep. DOT HS 809 566, Mar. 2003.
- [3] J. Healey and R. Picard, "SmartCar: Detecting driver stress", *Proc. 15th Int. Conf. Pattern Recognition*, Vol. 4, pp. 218-221, 2000.
- [4] A. Kicher, M. Uddman, and J. Sandin, "Vehicle control and drowsiness", Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden, Tech. Rep. VTI-922A, 2002.
- [5] Grace et al., "Apparatus and Method of Monitoring a Subject and Providing Feedback Thereto", *United States Patent*, Apr. 2007.
- [6] Grace et al., "Apparatus and Method of Monitoring

a Subject's Eye Using Two Different Wavelengths of Light", *United States Patent*, Jul. 2000.

- [7] Chen et al., "Red-Eye Detection Based on Red Region Detection with Eye Confirmation", *United States Patent*, Jan. 2007.
- [8] Luis M. Bergasa and Miguel A. Sotelo, "Real-Time System for Monitoring Driver Vigilance", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 63-77, Mar. 2006.
- [9] Dinges and Mallis, et al., "Evaluation of Techniques for Ocular Measurement as an Index of Fatigue and the Basis for Alertness Management", Final Report of USDOT, NHTSA, 104 pp, Report No. DOT HS 808 762, 1998.