

文章编号: 1002-0268 (2006) 09-0150-04

眼球追踪技术在高速公路景观敏感区研究中的应用

陈雨人¹, 王晓明², 顾丁奕²

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092;
2. 上海雨济计算机辅助工程有限公司, 上海 200437)

摘要: 介绍了利用摄像头进行眼球自动追踪的技术以及在高速公路景观敏感区研究中的应用, 其主要原理是利用图像灰度曲线进行计算, 分别获得水平和垂直灰度曲线, 接着进行初步定位得到包含眼球在内的矩形区域, 然后在此基础上对眼球位置进行精确计算, 最后利用图像帧列计算眼球的相对移动轨迹和停留时间, 由此可以记录试验者对高速公路景观不同区域的注意程度和关注时间, 为高速公路景观研究和应用提供支持。

关键词: 眼球; 追踪; 灰度曲线; 高速公路景观; 敏感区

中图分类号: U418.9

文献标识码: A

Eye-tracking Used for Impressive Highway Landscape Area

CHEN Yu-ren¹, WANG Xiao-ming², GU Ding-yi²

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Shanghai Yuji Computer Aided Engineering Co Ltd, Shanghai 200437, China)

Abstract: The technology of eye-position tracking for impressive highway landscape area using computer camera is put forward. First, the horizontal curve and vertical curve of image gray value are drawn, then a rectangle area including eye is positioned, then the position of eyeball is accurately calculated in this rectangle, the path of eyeball moving and time of eyeball stay somewhere are obtained using video image frames, which indicate the attractiveness of the impressive highway landscape area.

Key words: eyeball; tracking; curve of image gray value; highway landscape; impressive area

0 概述

目前对高速公路景观敏感区的研究越来越深入^[1], 在高速公路景观和绿化设计中引入视觉特性是非常重要的^[2], 其中研究驾驶员观看公路景观时眼球运动规律是一个重要的方面, 眼球追踪已成为最新的研究手段。眼球追踪技术目前有二方面的应用, 一类是采用 EMR 技术在拍摄的视频影像中合成眼球的轨迹, 要求人的头部不能有很大的转动, 主要是

通过高速摄影机记录瞳孔的位置, 另一类是直接拍摄实验者眼部的图像, 然后使用模板匹配的方法自动捕捉眼球的位置, 不过这类算法中由于使用了模板和阈值^[7,8], 所以计算比较慢且有时候不成功。笔者在高速公路动态透视图需要研究眼球的运动位置^[1], 提出了一种基于灰度曲线利用普通摄像头进行眼球追踪的技术^[9], 并且应用在几个道路和交通工程的项目中, 获得了理想的效果, 这里介绍这一方法以及在高速公路景观敏感区研究中的应用。

收稿日期: 2005-05-25

作者简介: 陈雨人 (1966-), 男, 江苏大丰人, 副教授, 博士研究生, 研究方向为道路交通计算机辅助工程、公路景观研究与设计。
(chenyr@tongji.edu.cn)

1 基于灰度曲线的眼球定位方法

试验者观看计算机屏幕或者投影机播放的高速公路景观画面, 使用 1 只摄像头拍摄试验者眼部图像, 通过 USB 输入计算机, 视频图像分辨率采用, 其他无特殊限制。

本文采用的眼球定位方法共分 4 个步骤: 对采集的图像绘制水平和垂直灰度曲线; 根据灰度曲线进行初始定位; 在矩形区域中精确确定眼球的位置; 计算眼球的移动轨迹并根据具体应用映射其坐标。

1.1 对采集的图像绘制水平和垂直灰度曲线

任意像素的颜色值可以用 RGB 的三原色的分量来表示, 则该像素的灰度值为

$$Gray_{ij} = 0.244 \times Color_R_{ij} + 0.547 \times Color_G_{ij} + 0.144 \times Color_B_{ij} \quad (1)$$

由于人皮肤的颜色以红色为基调, 因此也可以只用红色分量来处理^[3]:

$$Gray_{ij} = Color_R_{ij}.$$

然后计算每一行和每一列的灰度平均值:

$$Row_j = \frac{\sum_{i=x_1}^{x_2} Gray_{ij}}{x_2 - x_1} \quad \text{和} \quad Col_i = \frac{\sum_{j=y_1}^{y_2} Gray_{ij}}{y_2 - y_1}$$

式中, $Gray_{ij}$ 、 $Color_R_{ij}$ 、 $Color_G_{ij}$ 和 $Color_B_{ij}$ 分别为像素 i, j 处的灰度值、红色分量、绿色分量和蓝色分量, Row_j 和 Col_i 分别表示第 j 行和第 i 列的灰度平均值。比如假设第 j 行共有像素 N 个, 即 $N = x_2 - x_1$, 然后根据公式(1)计算每个像素的灰度值, 对 N 个像素的灰度值求和得到 $\sum Gray_{ij}$, 再对 N 个像素求平均值, 即得到 Row_j , 同样可以得到 Col_i , 分别以水平像素位置为 X 值, 计算出的 Col_i 为 y 值, 就可以绘制出水平灰度曲线 $HorGray$, 以水平像素位置为 X 值, 计算出的 Row_j 为 Y 值, 可以绘制出垂直灰度曲线 $VerGray$, 如图 1 所示。



图 1 不同试验者绘制出的水平和垂直的灰度曲线

Fig.1 Horizontal and vertical curve of image gray from different triers

水平灰度曲线 $HorGray$ 上明显存在 3 个拐点 A、B 和 C, 其中处于鼻梁位置 B 点的灰度值明显比别的地方高, 这样就可以以此为界将左右脸分开, A、C 两点基本上处于人脸两侧耳朵附近, 人脸相对于背景来说有明显的亮度, 这样在水平方向上可以通过 A、B 和 C 初步将人的左右眼区分出来, 分别通过男女进行试验计算, 这种特征效果非常好。

垂直灰度曲线 $VerGray$ 稍微复杂一些, 但是特征也是很明显的, 在试验时调整摄像头, 选择从额头到下巴这样的区域进行研究, 从上而下也明显存在 5 个拐点 D、E、F、G 和 H, 这 5 个点分别对应额头、眉毛、眼皮、眼睛和眼睑部分, 其中眉毛和眼睛的灰度值比较低, 而额头、眼皮和眼睑的灰度值比较高, 依次可以通过 D、E、F、G 和 H 将感兴趣的部位从垂直方向上甄别出来, 这里眼睛是感兴趣的部位, 在分别进行的试验中, 效果也非常明显。

上述分析情况示意在图 2 (a) 上, 设图像的宽为 m_width , 高为 m_height , $left$ 是包含左眼的矩形区域, 它的左下角坐标为 $(left_LV, bottom_LU)$, 右上角坐标为 $(right_LV, top_LU)$, $right$ 是包含右眼的矩形区域, 它的左下角坐标为 $(left_RV, bottom_RU)$, 右上角坐标为 $(right_RV, top_RU)$, 下面将说明几个坐标点的计算方法。

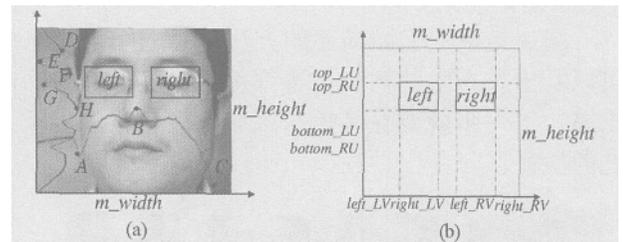


图 2 基于灰度曲线的眼球识别模式

Fig.2 Identify the eyes area on curve of image gray

1.2 根据灰度曲线进行初始定位^[3,4]

根据水平灰度曲线 $HorGray$ 和垂直灰度曲线 $VerGray$ 上的特征点 A、B、C、D、E、F、G 和 H 可以确定分别包含两眼的初步位置 $(left_LV, bottom_LU)$ 、 $(right_LV, top_LU)$ 、 $(left_RV, bottom_RU)$ 和 $(right_RV, top_RU)$, 具体计算方法如下。

(1) 在 $HorGray$ 上从 0 到 m_width 计算特征点 B 所对应的像素位置 $midCol$, 则令 $right_LV = left_RV = midCol$, 这样可以将左右眼分开。

(2) 在 $HorGray$ 上从 0 到 $midCol$ 计算特征点 A 所对应的像素位置 $leftCol$, 则令 $left_LV = leftCol$, 作为左眼的左侧边界。

(3) 在 $HorGray$ 上从 $midCol$ 到 m_width 计算特

征点 C 所对应的像素位置 rightCol, 则令 right_RV=rightCol, 作为右眼的右侧边界。

(4) 在 VerGray 上从 topRow 到 m_height 计算特征点 F 所对应的像素位置 topRow, 则令 top_LV=top_RV=topRow, 作为左右眼的上部边界,

(5) 在 VerGray 上从 0 到 m_height 计算特征点 H 所对应的像素位置 bottomRow, 则令 bottom_LV=bottom_RV=bottomRow, 作为左右眼的下部边界。

在具体应用中, 为标定左右眼移动的边界, 要求试验者头部不要转动, 观看高速公路景观动画图像一段时间, 转动眼球尽可能朝景观画面四周看, 由计算机获得几分钟数据, 根据上面的原理计算出不同时刻(1 s 左右)的上下边界, 然后进行累加平均就可以获得一个比较稳定的眼球移动边界信息。

上述计算过程在图 2(b)中, 这里进行了一项假设, 那就是认为左右眼基本是水平的, 这也是对试验者的唯一要求, 此外根据试验一般人的鼻梁宽度肯定大于眼睛宽度的 1/12, 因此对两个参数进行了修正, 将 right_LV 向左移动 1/12 眼睛宽度, left_RV 向右移动 1/12 眼睛宽度, 也就是: $right_LV = right_LV - \frac{right_LV - left_LV}{12}$ 、 $right_RV = right_RV - \frac{right_RV - left_RV}{12}$ 。

图 3 是根据上面描述的方法计算的结果, 从中可以看出左右眼的初步位置都可以比较准确地确定出来, 下一步就要在各矩形区域中确定眼球以及瞳孔的位置。



图 3 根据灰度曲线对眼睛进行初步定位

Fig.3 Get eyes primary poison using curve of image gray

1.3 在矩形区域中精确确定眼球的位置

这一阶段的工作主要集中在初步确定的矩形区域里面进行的, 主要步骤为 1) 利用最佳阈值原理进行二值化;(2) 根据二值化结果确定眼球的位置。具体方法如下。

(1) 利用最佳阈值原理进行二值化^[9]

(a) 求矩形区域图像中最大最小灰度 $Gray_{max}$ 和 $Gray_{min}$, 令初始阈值为 $T^k = \frac{Gray_{max} + Gray_{min}}{2}$ 。

(b) 根据阈值 T^k 将图像分割成 2 个部分, 求出 2 个部分的平均灰度:

$$Gray_a = \frac{\sum_{z(i,j) < T^k} z(i,j) \times n(i,j)}{\sum_{z(i,j) < T^k} n(i,j)}$$

$$Gray_b = \frac{\sum_{z(i,j) > T^k} z(i,j) \times n(i,j)}{\sum_{z(i,j) > T^k} n(i,j)}$$

其中, $z(i, j)$ 表示图像 (i, j) 点的灰度值, $n(i, j)=1.0$ 。

(c) 求出新的阈值为 $T^{k+1} = \frac{Gray_a + Gray_b}{2}$ 。

(d) 如果 $T^k = T^{k+1}$, 则结束, 否则 $k=k+1$, 转到步骤(b)。

根据上原理进行眼睛部分的二值化计算, 将结果保存为 eye_Value, 在研究是不是打瞌睡的应用中就可以应用该值^[4], 如图 4 所示。

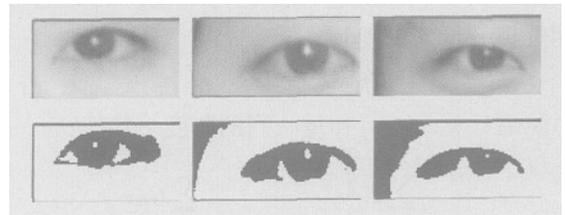


图 4 基于最佳阈值原理进行二值化的结果

Fig.4 Result of white and black using best threshold value

(2) 根据二值化结果确定眼球的位置

眼睛二值化后, 一般眼球中会有一个明亮的白点, 现在可以进行眼球的定位计算, 眼球的位置使用坐标(eye_x, eye_y)表示, 该坐标以整个图像的左上角为原点的, 采用与原图像一样的像素单位, (eye_x, eye_y)的确定步骤如下:

(a) 首先判断眼球中是否存在这一明亮点, 如存在就取这个部分的像素坐标作为眼球坐标 (eye_x, eye_y)。

(b) 如果这个区域中没有明显的亮白点 (眼睛不够明亮), 则计算整个眼球的几何形心, 作为眼球坐标 (eye_x, eye_y)。

根据上面的计算原则, 计算了各个试验者左右眼球的位置像素坐标, 并标上绿色的十字, 如图 5。



图 5 眼球坐标的计算

Fig.5 Compute eyes coordinate

1.4 计算眼球的移动轨迹并映射其坐标

计算出眼球的像素坐标以后, 可以转化为相对于矩形区域的相对坐标, 这样就可以得到第 i 帧的相对坐标 $(eyexd_x_i, eyexd_y_i)$, 第 $i+1$ 帧的相对坐标 $(eyexd_x_i+1, eyexd_y_i+1)$, 这里以左眼为例进行计算, 就可以等到眼球相对于区域 $(left_LV, top_LU) - (right_LV, bottom_LU)$ 的移动轨迹, 通过试验标定眼球移动的边界 $(x_min, y_min) - (x_max, y_max)$, 将这个坐标映射到计算机屏幕的 4 个角点, 就可以进行有关眼睛追踪方面的应用了, 这一过程如图 6 所示。

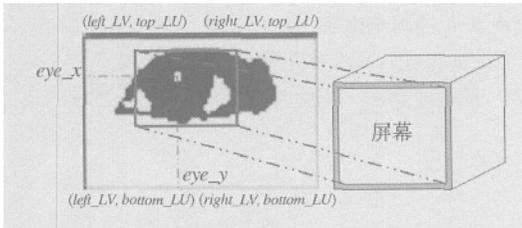


图 6 计算眼球的移动轨迹并映射其坐标

Fig.6 Compute eyes moving tracks and mapping coordinates

2 在高速公路景观敏感区域研究中的应用

通过上面的技术可以记录下所有试验者在观看到高速公路景观画面时的眼球运动的情况, 这次试验总共使用了 100 幅照片, 每幅照片播放 3 s, 0.3 s 采集一个数据, 主要记录眼球的移动顺序、停留的时间和移动轨迹, 眼球图像尺寸为 352×288 , 景观图像尺寸为 $1\ 024 \times 768$, 图 7 是其中一幅照片记录情况, 表 1 是相应的数据资料。



图 7 试验者在观看高速公路景观画面时眼球的运动情况

Fig.7 The triers eyes movement while watching highway landscape

表 1 眼球运动的数据资料
Tab.1 Data of eyes movement

点号	时刻	左眼位置		映射位置[Z]		右眼位置		映射位置[Y]		景观位置	
1	0.3	265	51	520	200	270	51	534	200	527	200
2	0.6	40	62	204	234	42	62	211	234	208	234
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
9	2.7	280	64	985	230	282	64	978	230	982	230
10	3.0	270	160	678	568	277	160	658	568	668	568

注: 时刻单位为秒, 位置单位为像素

表 1 中景观位置右左右眼的映射位置平均得到, 由试验看出, 左右眼映射在水平方向上有一定的误差, 对水平分辨率为 1 024 的图像为 20~50 个像素, 大概为 5% 的误差, 也就是对于 25 m 的高速公路水平方向误差 1 m 到 1.5 m, 这在公路景观研究方面是可以接受的。

有了这些研究数据以后就可以分析高速公路景观吸引驾驶员眼球的情况, 同时可以获得在不同区域的停留时间, 为有的放矢地进行高速公路景观规划和设计提供依据^[1]。

3 结语

本文结合工作试践介绍了一种追踪眼球的技术, 并且将其应用在高速公路景观敏感区研究中, 与有关专家和同仁进行交流, 希望把这方面的工作做得更好。

参考文献:

[1] 陈雨人, 等. 基于视觉特性确定公路景观敏感区的方法[C]//公路

与自然, 2003, 35(特): 53- 57.

[2] 王浩, 等. 视觉特性与道路绿地设计 [J]. 南京林业大学学报, 2001, 1(3):78- 81.

[3] 王荣本, 等. 适用驾驶员疲劳状态监测的人眼定位方法研究[J]. 公路交通科技, 2003, 20(5): 111- 114.

[4] 李峰, 等. 驾驶防瞌睡装置中人眼快速定位方法研究[J]. 光学仪器, 2002, 24(4- 5): 70- 72.

[5] MARKUS ANDIEL, SIEGBERT HENTSCHE, THORSTEN ELLE, EDUARD FUCHS. Eye-Tracking for Autostereoscopic Displays using Web Cams [J]. Stereoscopic Displays and Applications XIII, 2002, 4660.

[6] IGNACIO MIRO, NORBERTO LOPEZ - GIL1, PABLO ARTAL1. Pupil-meter and tracking system based in a fast image processing algorithm[J]. PROC. SPIE, 1999, 3591. 63- 70.

[7] J DENGAND, F LAI. Region-based Template Deformation and Masking for Eye-feature Extraction and Description [J]. Pattern Recognition, 1997,30(3): 403- 419.

[8] X XIE, R SUDHAKAR, H ZHUANG. On Improving Eye Feature Extraction Using Deformable Templates [J]. Pattern Recognition, 1994,27(6): 791- 799.