

# 基于红外图像的眼睛开闭检测方法

赵 文, 张 意, 张卫华<sup>+</sup>, 周激流

(四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065)

**摘 要:** 基于红外眼睛图像, 提出一种红外环境下判断眼睛开闭状态的方法, 并应用于疲劳驾驶检测当中。对图像采用基于余弦的 Gamma 校正压缩灰度值域的高低两端, 同时扩展中间灰度值范围提高对比度, 使用多尺度 Retinex 变换消除阴影的干扰以获取更准确的眼睛形态, 根据眼角角度和上下眼睑间的高度在平面坐标上的分布特征对眼睛状态进行分类。实验结果表明, 该方法可以有效地判断眼睛的状态。

**关键词:** 疲劳驾驶; 眼睛状态判断; Gamma 校正; 多尺度 Retinex; 红外图像

**中图法分类号:** TP391 **文献标识号:** A **文章编号:** 1000-7024 (2015) 02-0436-05

**doi:** 10.16208/j.issn1000-7024.2015.02.030

## Detection method for judging open/closed state of eyes based on infrared images

ZHAO Wen, ZHANG Yi, ZHANG Wei-hua<sup>+</sup>, ZHOU Ji-liu

(School of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Based on the infrared eye images, a method was proposed for recognizing the states of eyes in the infrared environment. First, cosine based Gamma correction was adopted to adjust the range of gray value to enhance image contrast. After that, to eliminate the effect of shadow, multi-scale Retinex was utilized to obtain more accurate shape of eyes. Next, based on the open angle of canthus and the distribution characteristics of the distance between top and bottom eyelids on the two-dimensional coordinate plane, the states of eyes were classified. Experimental results show that the proposed method can detect the states of eyes with high accuracy.

**Key words:** driving fatigue; eye state recognition; Gamma correction; multi-scale Retinex; infrared video

## 0 引 言

疲劳检测中研究最多的是采用基于计算机视觉技术的生理状态检测并结合 PERCLOSE 方法判断疲劳状态, 而人眼开闭状态是 PERCLOSE 原理的基本内容<sup>[1,2]</sup>。检测眼睛状态的方法有多种, 如垂直积分投影法<sup>[3]</sup>、眼睛高度判断法<sup>[4]</sup>和眼睛宽高比<sup>[5]</sup>等, 但这些方法易受光照影响且计算的精度不够高。

针对以上问题, 本文提出一种基于红外图像的眼睛开闭状态检测方法。首先利用 Adaboost 获取人眼部位, 然后为降低光照的影响, 先对眼睛图像做 Gamma 校正克服光照

影响, 使用多尺度 Retinex 变换去除光照不均匀引起的阴影干扰, 再采用迭代阈值法将图像二值化, 从而更准确地获取眼睛区域。在判断眼睛状态时, 采用融合眼角睁开角度和眼睛睁开高度信息的判断方法提高检测的准确性。本文的算法流程如图 1 所示。

## 1 眼部图像预处理

### 1.1 图像增强

在 Adaboost 算法获得眉毛眼睛区域后, 为克服不同光照环境对图像的影响, 首先对图像采用 Gamma 校正。Gamma 校正是一种非线性的灰度值变换, 它直接对灰度值

收稿日期: 2014-04-28; 修订日期: 2014-07-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61302028); 四川省科技支撑计划基金项目 (2012RZ0005); 四川省科技支撑计划基金项目 (2011GZ0201)

作者简介: 赵文 (1989-), 男, 江苏宿迁人, 硕士研究生, CCF 会员, 研究方向为图像处理; 张意 (1983-), 男, 四川成都人, 博士, 讲师, 研究方向为图像处理; +通讯作者: 张卫华 (1977-), 男, 四川达州人, 博士, 讲师, 研究方向为数字图像处理; 周激流 (1963-), 男, 四川内江人, 教授, 博士生导师, 研究方向为数字图像处理。E-mail: zhaowenscu@163.com

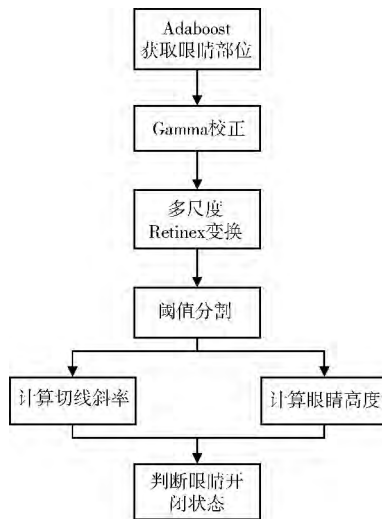


图1 算法整体流程

进行指数变换<sup>[6]</sup>, 变换公式如下

$$\text{gamma}(I) = I_{\max} (I/I_{\max})^{\gamma}, \gamma > 0 \quad (1)$$

由式(1)可得, 当  $\gamma \in (0, 1)$  时, 灰度值低的部分或

阴影部分的灰度值区间被扩大, 对比度增强, 而高亮度区域的灰度值区间将被压缩, 当  $\gamma > 1$  时, 灰度拉伸和压缩效果与上述情况相反,  $\gamma = 0$  时, 灰度值保持不变。

由式(1)可以看出 Gamma 校正只实现了将图像的所有像素灰度值变亮或变暗的单向变换, 为了同时压缩较低和较高灰度值, 本文采用基于余弦曲线的 Gamma 校正方法<sup>[7]</sup>。首先分段地将灰度值  $[0, 255]$  映射到弧度区间  $[0, \pi]$ , 规则如式(2)所示的分段函数

$$\varphi(x) = \begin{cases} \pi x/2x_0, & x \in E_1 \\ \pi/2, & x \in E_2 \\ \pi - \pi(255-x)/2(255-x_1), & x \in E_3 \end{cases} \quad (2)$$

式中  $0 < x_0 \leq x_1 < 255$ ,  $E_1$ 、 $E_2$  和  $E_3$  则分别代表  $[0, x_0]$ 、 $(x_0, x_1)$  和  $[x_1, 255]$ 。确定  $\gamma$  值与弧度之间的映射关系

$$\gamma(x) = 1 + a \cos(\varphi(x)) \quad (3)$$

如图2(a)所示,  $a$  的大小影响  $\gamma$  区间大小以及曲线的陡峭程度,  $\gamma$  值区间大小与  $a$  成正比, 同时由图2(b)可看出  $a$  越大, 校正后的灰度值与原灰度值差别越大且提高了中间部分灰度值的对比度。

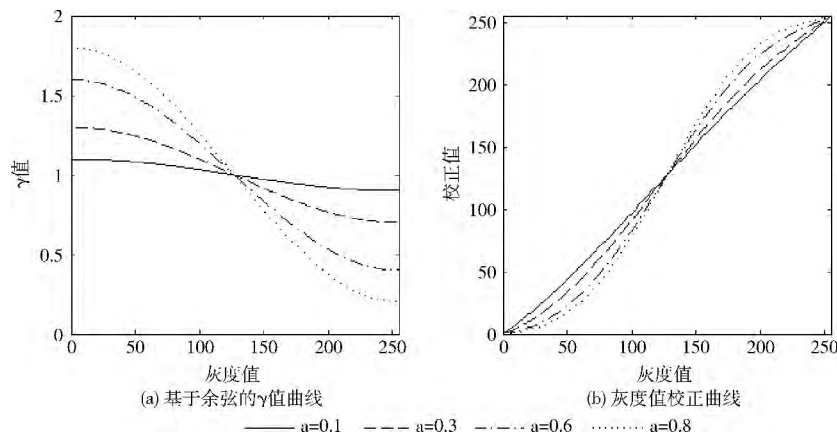


图2 Gamma 曲线与校正结果

图3给出  $a = 0.8$  时的图像校正结果, 与原图(a)相比, 图(b)中区域3比图(a)中区域1灰度值更高, 图(b)中区域4的眼睛部分灰度值比图(a)中区域2的灰度值更低, 图(b)中不同区域间灰度值差异更为明显。

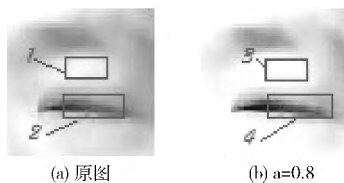


图3 Gamma 校正结果

Gamma 校正虽然可以增强不同灰度值间的对比, 但在处理对比度较差的图像或图像区域时效果不显著, 而在光

照整体较暗的情况下使用 Retinex 变换可以有效地滤除图像中的低频区域从而保留细节较多的眼睛部分。对红外图像采用 Retinex 变换的基础是假设在配置了红外光源的情况下, 红外图像是由物体反射外界红外线形成的。Retinex 理论<sup>[8]</sup>描述了人类视觉系统调节感知物体颜色和亮度的行为。它将图像的形成分解成两部分影响因素——入射光和反射物体, 用式(4)描述 Retinex 理论模型

$$S(x, y) = R(x, y) \cdot L(x, y) \quad (4)$$

对于图像中任一点  $(x, y)$ , 输入图像的灰度值  $S(x, y)$  由入射光照亮度  $L(x, y)$  与物体自身的反射系数  $R(x, y)$  相乘得到,  $L(x, y)$  是物体所处环境光照强度, 它直接决定了图像  $S$  中灰度值的动态范围且对应着图像的低频信息, 而  $R(x, y)$  代表成像物体的细节及对光照的反射性质, 它包含

图像的高频信息。为获取  $R(x, y)$ ，将 Retinex 模型转换成对数形式可以将乘法变换成简单的加减运算且更适合人眼对光照的感知能力，得到下面公式

$$r = \ln R = \ln S - \ln L = s - l \quad (5)$$

为获取物体反射光部分  $r$ ，先估算出入射光的照度  $l$ 。我们采用高斯平滑估计亮度图像，高斯函数如下

$$g(x, y) = Ke^{-(x^2+y^2)/\sigma^2}, \iint g(x, y) dx dy = 1 \quad (6)$$

$$r = s - s * g \quad (7)$$

式 (6) 中  $\sigma$  是高斯函数的标准差， $K$  为常系数，式 (7) 中  $*$  为卷积操作符。

高斯滤波器的尺度  $\sigma$  控制着滤波后的图像保留多少细节信息， $\sigma$  越小光照图像细节保留的越多，而反射图像的数据越少。 $\sigma$  越大则光照图像越平滑，对应的反射图像具有更多的原图信息，如图 4 所示。



图 4 不同  $\sigma$  对应的变换结果

将不同尺度  $\sigma_n$  处理得到的反射图像以对应的权值  $w_n$  组合在一起就得到多尺度 Retinex (MSR) 变换

$$r_{MSR} = \sum_{n=1}^N w_n \cdot r_n \quad (8)$$

使用高斯滤波器的 MSR 算法可以有效地增强图像细节及阴影部分的对比度<sup>[9]</sup>。图 5 展示了眼部图像预处理的整体流程。

## 1.2 提取眼部区域

经过 Gamma 校正和多尺度 Retinex 变换后的眼部图像的皮肤区域更加平滑且灰度值接近最大值 255，眼睛边缘、瞳孔和眼仁等细节部分在图像中更加明显，在此基础上采用迭代阈值法<sup>[10]</sup>将图像二值化然后从图像中精确地提取眼部部位，迭代阈值法的主要步骤如下：

步骤 1 找出图像的最大灰度值  $g_{\max}$  和最小灰度值  $g_{\min}$ ， $k = 0$ ，初始阈值  $t_k = (g_{\max} + g_{\min})/2$ ；

步骤 2 分别计算图像中灰度值小于和大于  $t_k$  两个像素集的灰度平均值  $A_s$  和  $A_b$ ；

步骤 3 更新阈值  $t_{k+1} = (A_s + A_b)/2$ ；

步骤 4 若  $|t_{k+1} - t_k| < \epsilon$ ，则最终阈值为  $t_{k+1}$ ，否则转步骤 2 继续计算。

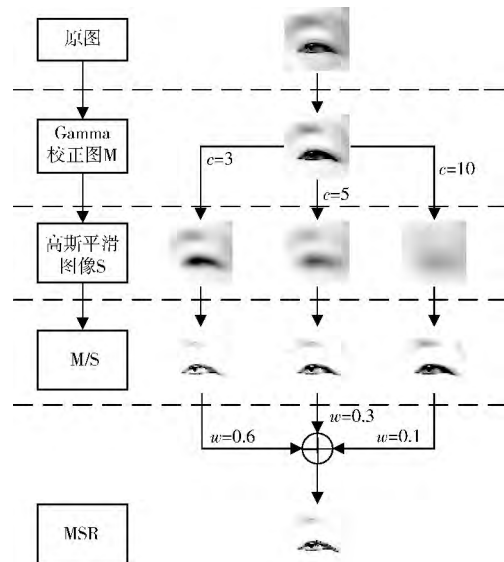


图 5 增强对比流程

令  $\epsilon = 1$  进行迭代阈值法处理，得到的二值图像眼睛部分存在不连续的区域且图像中有非眼睛区域的干扰，我们使用形态学算子进行修复。先进行腐蚀操作，再逐行扫描图像，若同一行上两点  $p_1$ 、 $p_2$  都为 0 且  $|p_{2x} - p_{1x}| < d$ ，则将  $p_1$  和  $p_2$  之间的点置为 0 来缝补空隙，然后进行膨胀操作，得到无残缺区域。处理完形态后只取图像下半部分的连通区域以消除眉毛的干扰，在光照环境差别较大时，也能得到较好的效果，如图 6 所示。

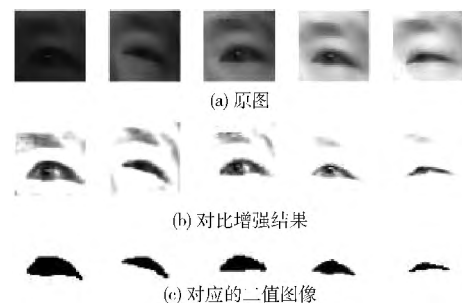


图 6 不同光照的处理结果

## 2 眼睛开闭检测

### 2.1 眼角张开程度

在得到眼部区域的二值图像之后，我们在二值图像中获取上眼睑，然后从左右两端眼角开始分别选取上眼睑的  $p$  个点，用式 (9) 计算眼角的近似切线斜率  $sl$ 、 $sr$  和眼睑坐标  $y$  值的方差  $\sigma_y^2$ ，求出的切线如图 11 所示

$$b = \frac{\sum_{i=1}^p x_i y_i - p \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^p x_i^2 - p \bar{x}^2}, \sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} \quad (9)$$

取左右眼角切线斜率平均值对应的弧度作为眼睛的张开角度, 眼睛睁得越大则对应的角度越大, 同时方差  $\sigma_y^2$  也越大, 反之, 两者都较小, 取它们的乘积作为判断参数  $S$ , 如式 (10) 所示

$$S = \sigma_y^2 \cdot \arctan\left(\frac{|sl| + |sr|}{2}\right) \quad (10)$$

## 2.2 上下眼睑距离

瞳孔所在位置上下眼睑间的距离是评估眼睛睁开程度的重要参数, 而瞳孔反射的光线很少所以在图像中的灰度值较低, 选择眼睛区域灰度平均值最小的连续 5 列作为瞳孔的位置, 计算该区域上下眼睑距离的平均高度作为眼睛睁开高度  $H$ 。眼睛睁得最大时  $H_{\max}$  也最大, 闭眼时上下眼睑合在一起得到最小值  $H_{\min}$ , 高度值  $H$  在最大值和最小值之间随着眼睛的眨动而变化<sup>[11]</sup>。

## 2.3 眼睛开闭判断

当眼睛睁开程度较大时, 对应的  $S$  和  $H$  都较大, 而闭眼时的  $S$  和  $H$  都很小。以零点 (0,0) 为中心, 在第一象限中画出半径为  $R$  的圆弧, 若点  $(S, \frac{H}{10})$  落在圆弧外则判断为睁眼图像, 否则判断为闭眼状态, 用式 (11) 求得点  $(S, \frac{H}{10})$  到中心点的距离

$$r = \sqrt{S^2 + \left(\frac{H}{10}\right)^2} \quad (11)$$

半径  $R$  作为划分闭眼和睁眼的阈值,  $r$  与半径  $R$  比较, 当  $r > R$  时判断图像状态为睁眼, 否则判断为闭眼状态。

## 3 实验结果与分析

实验采用红外光源补光以及 850-1000nm 可透红外滤光片嵌于摄像头内获取大小为  $320 \times 240$  的红外图像, 实验样本分为两组, 第一组是驾驶员实际驾驶时的图像, 将 LED 红外灯条粘在车窗顶端, 在避免红外光线直射眼睛的情况下补光, 摄像头安装于仪表盘上方, 第二组是在室内采用红外灯补光获取图像; 基于获取到的红外图像, 用 Ada-boost 算法提取出眼睛部位, 一共取 800 张闭眼和 800 张睁眼图像, 采用 gamma 校正和多尺度 Retinex 变换进行预处理, 然后通过阈值分割准确找到眼睛, 再从二值化后的图像中提取出眼睛上眼睑切线斜率以及眼睛睁开高度这两项参数。在以斜率为  $x$  轴, 高度为  $y$  轴的坐标平面上, 图像的分布情况如图 7 所示。

图中的 “.” 代表睁眼图像, “×” 代表闭眼图像, 曲线为半径  $R_1 = 0.65$  的圆弧, 它是区分睁眼及闭眼状态的阈值, 圆弧内的 “.” 是判断错误的睁眼图像而圆弧外的 “×” 是判断错误的闭眼图像。从图 7 的睁眼和闭眼的分布情况可以看出眼睛闭合时眼睛高度和上眼睑弯曲程度都比较小, 集中分布在靠近原点的区域内, 但眼睛倾斜角度过大时, 图像特征参数点会落在圆弧外引起错误判断; 睁眼

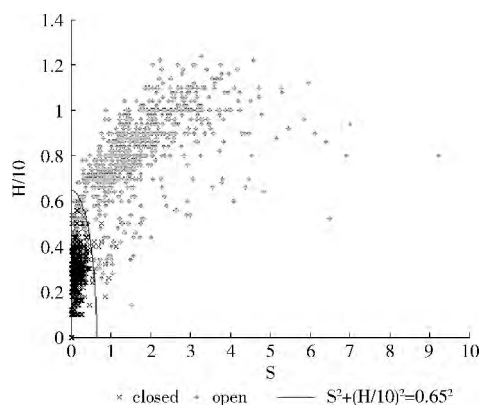


图 7 眼睛图像分布散点

时的眼睛高度和上眼睑弯曲程度都比较大, 在平面上与原点的距离较远, 因此, 睁眼图像密集分布在圆弧外的一块区域。在现实环境中, 驾驶员在不断晃动, 眼部图像大小随着眼睛与摄像头的距离在变化, 得到的眼睛高度随着眼睛大小而变化, 同时由于计算瞳孔位置时存在偏差导致得到的位置不是瞳孔所在的位置而使高度值偏小, 所以会有一些点零散的分布在圆弧外的其它区域表 1 给出了垂直积分投影方法和文献 [12] 的模板匹配法在本文实验数据上的结果。垂直积分投影法利用眼睛在垂直方向上的积分投影曲线面积与眼睛外接矩形面积的比值  $arearate > 0.8$  作为判断闭眼的依据, 而从图 8 看出睁眼和闭眼状态获取的  $arearate$  存在较大的交集, 准确率较低。模板匹配法通过比较图像与模板的相关值  $R$  来判断眼睛的状态, 图 9 给出了眼睛图像分别与睁眼模板和闭眼模板的相关性的差值, 差值为正表示判断正确, 差值为负表示判断错误, 通过实验发现该方法在眼睛倾斜时会把闭眼判断为睁眼, 影响准确率。通过比较 3 种实验结果的误判率、漏报率、虚报率、召回率、正确率、精确率、F 值和代价因子 TCR 各项指标得出, 本文方法的各项指标均好于其它两种实验的结果, 由此得出本文方法在对红外图像的处理中具有 3 种方法中具有最好的检测效果。

## 4 结束语

本文在对图像采用 Gamma 校正和多尺度 Retinex 变换的基础上, 提出一种基于眼角角度和眼睛睁开高度的二维分布判断眼睛睁闭的方法。对图像采用的预处理能较好地消除不同光照的影响, 但在处理较强光时需要调节参数达到最好效果。实验证明本文方法可以有效地判断红外环境下人眼的开闭状态。未来将考研究不同光照环境下参数自适应调整以及实现对佩戴眼镜的情况进行处理, 以适应更多的环境和人群, 进一步提升系统的实用性, 提高疲劳检测的准确率, 预防疲劳驾驶。

表 1 实验结果

方法	状态	数量	误判数	误判率 e/%	漏报率 m/%	虚报率 f/%	召回率 r/%	正确率 p/%	精确率 A/%	F 值 /%	代价因子 TCR
本文方法	睁眼	800	19	1.88	2.38	1.38	97.62	98.61	98.12	98.11	31.54
	闭眼	800	11				98.62	97.65		98.13	
垂直积分 投影	睁眼	800	476	31.81	59.5	4.13	40.5	90.76	68.19	56.01	1.67
	闭眼	800	33				95.87	61.71		75.09	
模板匹配	睁眼	800	23	7.25	2.88	11.63	97.12	89.31	92.75	93.05	2.00
	闭眼	800	93				88.37	96.85		92.42	

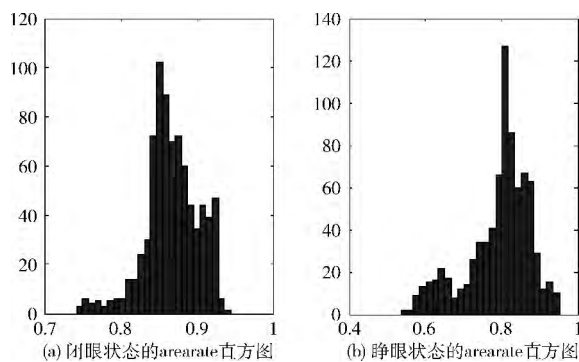


图 8 arearate 直方图

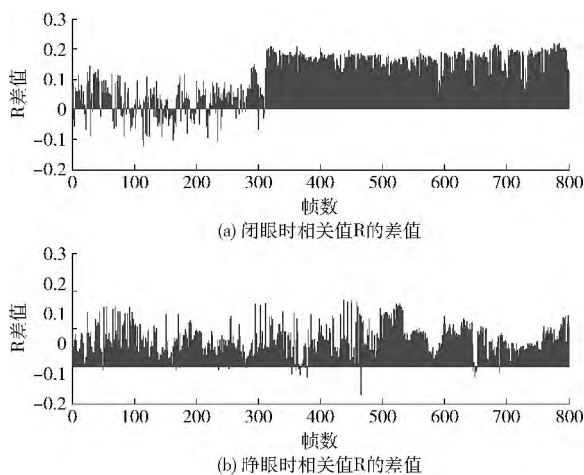


图 9 相关值 R 差值

## 参考文献:

- [1] ZHU Zhenhua, WU Xiaojuan, WANG Lei, et al. Detection method of driver fatigue based on blink duration [J]. Computer Engineering, 2008, 34 (5): 201-206 (in Chinese). [朱振华, 吴晓娟, 王磊, 等. 基于眨眼持续时间的司机疲劳监测方法 [J]. 计算机工程, 2008, 34 (5): 201-206.]
- [2] CHEN Shouming. A study of eye's location approach on driver fatigue detection [D]. Changsha: Central South University, 2010 (in Chinese). [陈守明. 驾驶员疲劳检测中人眼定位方法的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2010.]
- [3] HUANG Ren, TIAN Yuan, YANG Jiyun, et al. Driver fatigue detection based on eye's state recognition [J]. World Sci-Tech R&D, 2011, 33 (1): 125-127 (in Chinese). [黄仁, 田源, 杨吉云, 等. 基于人眼状态识别的驾驶员疲劳检测方法研究 [J]. 世界科技研究与发展, 2011, 33 (1): 125-127.]
- [4] LI Shaowen, WANG Jiangbo. Research on driver fatigue detection system [J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49 (15): 253-258 (in Chinese). [李绍文, 王江波. 驾驶员疲劳检测系统的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49 (15): 253-258.]
- [5] Li Liling, Xie Mei, Dong Huazhi. A method of driving fatigue detection based on eye location [C] //Proc of the 3rd IEEE International Conference on Communication Software and Networks, 2011: 480-484.
- [6] Huang Shih-Chia, Cheng Fan-Chieh, Chiu Yi-Sheng. Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22 (3): 1032-1041.
- [7] ZANG Chuanji, XIANG Jiantao, LI Guixiang, et al. Defect detection of mooring cable based on adaptive background correction [J]. Radar Science and Technology, 2012, 10 (6): 645-649 (in Chinese). [臧传吉, 项建涛, 李桂祥, 等. 基于自适应背景校正的系留缆绳损伤检测 [J]. 雷达科学与技术, 2012, 10 (6): 645-649.]
- [8] CHEN Liang. Fast self-adaptive scale Retinex for image enhancement [J]. Infrared and laser Engineering, 2010, 39 (Suppl.): 522-525 (in Chinese). [陈亮. 一种快速的基于自适应尺度 Retinex 的图像增强算法 [J]. 红外与激光工程, 2010, 39 (增刊): 522-525.]
- [9] Jang In-Su, Ha Ho-Gun, Lee Tea-Hyoung, et al. Adaptive color enhancement based on multi-scaled Retinex using local contrast of the input image [C] //International Symposium on Optomechatronic Technologies, 2010: 1-6.

(下转第 463 页)

- 机械产品虚拟装配技术研究 [J]. 机械工程与自动化, 2011, 40 (5): 31-33.]
- [4] GUAN Taiyang. Research of automatic code generation technology based on the template [D]. Chengdu: Institute of Computer, University of Electronic Science and Technology of China, 2007 (in Chinese). [管太阳. 基于模板的自动代码生成技术的研究 [D]. 成都: 电子科技大学计算机学院, 2007.]
- [5] TAN Fei. Design and implementation of automatic testing tools based on code generation technology [D]. Wuhan: Institute of Computer, Huazhong University of Science and Technology, 2010 (in Chinese). [谈飞. 基于代码生成技术的自动化测试工具的设计与实现 [D]. 武汉: 华中科技大学计算机学院, 2010.]
- [6] GUO Yanxia, HOU Tongpu, DU Yuanyuan. Picking up the entities in the three-dimensional scene based on DirectX technology [J]. Journal of Liaoning University of Petroleum Chemical Industry, 2009, 29 (3): 77-81 (in Chinese). [郭艳霞, 侯彤璞, 杜园园. 基于 DirectX 的三维场景实体的拾取 [J]. 辽宁石油化工大学学报, 2009, 29 (3): 77-81.]
- [7] BAI Yang. Exploration about the stored procedure of SQL SERVER [J]. Knowledge and Technology of Computer, 2011 (12): 8769-8776 (in Chinese). [白杨. 探究 SQL SERVER 存储过程 [J]. 电脑知识与技术 2011 (12): 8769-8776.]
- [8] CHEN Yanchun, LIANG Li. The method and realization of importing large data into database [J]. Skills and Maintenance for Computer Programming, 2012, 11 (1): 20-23 (in Chinese). [陈严纯, 梁立. 大数据导入数据库的方法与实现 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2012, 11 (1): 20-23.]
- [9] LI Mimi. The visualized technological research of product assembly sequence based on WEB [D]. Xi'an: Institute of Aviation, Northwestern Polytechnical University, 2007 (in Chinese). [李咪咪. 基于 WEB 的产品装配序列可视化技术研究 [D]. 西安: 西北工业大学航空学院, 2007.]
- [10] HU Qili. The automatic generating technological research of virtual training system for machinery equipment [D]. Shanghai: College of Mechanical, University of Shanghai for Science and Technology, 2012 (in Chinese). [胡其立. 机械装备虚拟培训系统自动生成技术研究 [D]. 上海: 上海理工大学机械学院, 2012.]
- [11] HUANG Qiguang, HAN Xie. The research and development of the VRML visual editor [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29 (5): 1296-1298 (in Chinese). [黄荣光, 韩燮. VRML 可视化编辑器的研究与开发 [J]. 计算机工程与设计, 2008, 29 (5): 1296-1298.]
- [12] SHAO Xiaoliang, NIE Li. The implementing method of the assembly simulation based on Division Mockup software [J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2007 (3): 54-56 (in Chinese). [邵晓东, 聂力. 基于 Division Mockup 装配仿真的实现方法 [J]. 机械设计与制造, 2007 (3): 54-56.]
- [13] PENG Gaoliang, CHEN Guangfeng, LIU Xinhua. modular fixture assembly model for virtual assembly design [J]. Journal of Donghua University (English Edition), 2009, 26 (1): 10-15.
- [14] CHEN Jingping. Design and application of visualization of assembly process [C] //Proceedings of IEEE 9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2008.

(上接第 440 页)

- [10] Wilhelm Burger, Mark J Burge. Principles of digital image processing-advanced methods [M]. London: Springer London Ltd, 2013: 11-14.
- [11] YUAN Weiqi, TENG Hongyan. Study on method of determining eye fatigue degree [J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49 (17): 199-203 (in Chinese). [苑玮琦, 滕红艳. 眼睛疲劳程度判定方法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49 (17): 199-203.]
- [12] WANG Qiong, WANG Huan, ZHAO Chunxia, et al. Driver fatigue monitoring based on eye state recognition [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology (Natural Science), 2010, 34 (4): 448-453 (in Chinese). [王琼, 王欢, 赵春霞, 等. 基于眼睛状态识别的驾驶员疲劳监测 [J]. 南京理工大学学报 (自然科学版), 2010, 34 (4): 448-453.]