

# 面向无人驾驶车感知系统的自动曝光方法

谷明琴 蔡自兴 易亮

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

**摘要** 为了采集清晰且稳定的图像,提出了一种相机自动曝光方法。首先在初始帧图像中检测交通标志,根据交通标志的检测结果,在划分的 9 个区域中确定感兴趣区域。利用 HSV 颜色空间中 V 分量直方图来准确判断图像的曝光情况,并依据感兴趣区域的位置和曝光情况来选择权值矩阵。最后利用灰度值方法获取下一帧图像的曝光时间,完成车载相机的自动曝光。实验结果表明该方法能够快速、有效地完成相机的自动曝光,并对逆光和背光具有一定的适应性。

**关键词** 自动曝光,无人驾驶车,亮度图像,曝光时间,直方图

中图分类号 TP391 文献标识码 A

## Auto Exposure Algorithm for Perception System of Intelligent Vehicle

GU Ming-qin CAI Zi-xing YI Liang

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract** In order to obtain non-dim and stable images, this paper proposed an automatic exposure algorithm of camera. Firstly, traffic signs are detected in the first frames image, and Region of Interest(RoI) is determined in 9 fixed partitions according to the results of traffic sign detection. Then the exposure situation is accurately judged by the histogram of V component in HSV color space, and weight matrix is selected according to the location of the interested region and exposure situation. Lastly, the exposure time of next frame image is got using gray value method, and the camera's automatic exposure is completed. The experimental results show that this method can quickly and effectively complete automatic exposure, and is adaptable for the backlight and backlit cases.

**Keywords** Auto exposure, Intelligent vehicle, Luminance image, Exposure time, Histogram

## 1 引言

自动曝光控制是数字相机的一个基本功能,它是根据人类视觉系统的特点来控制曝光量,使图像亮度最优化的过程。有效地控制曝光主要有 3 种方法:调整光圈、控制电子快门、调整放大增益<sup>[1]</sup>。在无人驾驶车的环境感知中,后两种方法应用更为广泛。在无人驾驶车的视觉系统中,获得清晰图像后就不能频繁地变化增益值,否则会造成图像不稳定,产生振荡,增加噪声;而且图像的对比度也会随增益的变化而变化,这会影响到目标的检测与识别效果。实际上,在室外环境的应用中,相机的电子快门控制应该是调整曝光时间。

传统的自动曝光系统是通过比较整幅图像的亮度均值与预先设定的参考值来进行曝光控制。这种方法对包含几个目标、合适亮度、低对比度的场景非常简单有效。然而,在拍摄目标和背景对比度高、亮度饱和或模糊阴暗的场景时,由于目前大多数相机中 CCD/CMOS 动态范围较窄,会造成曝光过度或不足。为了在背光及正面强光等特殊场景中进行有效的曝光控制,Haruki 等提出一种算法来将屏幕分为 6 个区域,

通过赋予各区域亮度累加值不同的权值将曝光重点放在屏幕中央<sup>[2]</sup>。Shimizu 等提出的算法为每帧图像计算出 3 个亮度门限,按照全帧图像中亮度值大于不同的门限的像素比率来区分背光、正面强光等特殊场景,并进行相应的曝光补偿<sup>[3]</sup>。Murakami 等提出的自动曝光系统在对图像主要拍摄对象进行曝光补偿的同时使用图像的色彩信息保持主体与背景的协调,在通过模糊逻辑处理系统补偿相机曝光时要保留背景的有用信息<sup>[4]</sup>。

多数自动曝光算法开始处理高动态范围的图像。一些算法使用分割和加权处理,文献[5]将图像分为 5 部分,分别用来确定动态权值,并比较参考值,以获得偏差。文献[6]通过跟踪目标来动态地改变权值矩阵,确保对动态目标有个合适的曝光,融合具有不同曝光时间的多帧图像以适应高动态范围的场景。文献[7,8]利用亮度直方图的几何分布信息调整相机的曝光时间和光圈,使输出图像的亮度直方图分布满足一定的要求。Jiang 等提出用多权值模板和直方图来克服采集图像过程中因野外环境中亮度变化大、动态范围高等造成的曝光不足或过度等问题<sup>[9]</sup>。

到稿日期:2012-08-21 返修日期:2012-11-30 本文受国家自然科学基金项目(90820302,60805027),国家博士点基金项目(200805330005),湖南省院士基金项目(20010FJ4030)资助。

谷明琴(1981-),女,博士生,主要研究方向为图像处理、模式识别,E-mail:gu\_mingqin@hotmail.com;蔡自兴(1938-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为机器人、智能控制、图像处理、模式识别;易亮(1987-),男,硕士,主要研究方向为图像处理、算法设计。

尽管以上方法已经明显提高了相机自动曝光的性能,但依然不能完全地适应无人驾驶车感知城市环境中交通标志的需要。该环境中具有较高的建筑物、树木、阴影、车辆等,会严重影响图像的曝光,且具有亮度的快速变化、复杂的场景和视觉环境的高动态范围等问题<sup>[10]</sup>。为此,自动曝光控制应该具有良好的适应性、高效率、强实时性,且输出图像要稳定可靠,无抖动和剧烈变化。本文针对这些需求,提出了一种自动曝光方法,它是将交通标志作为目标,利用 HSV 颜色空间中 V 分量直方图来准确判断图像的曝光情况,并根据交通标志的检测结果来确定感兴趣区域和权值矩阵,利用灰度值方法求取下一帧图像的曝光时间,完成车载相机的自动曝光。实验结果表明该方法能够快速、有效地完成自动曝光,并对逆光和背光具有一定的适应性。

## 2 算法实现

图 1 为车载数字相机自动曝光算法流程图。首先在相机采集的原始图像中检测交通标志,并将图像划分为 9 个区域,确定交通标志感兴趣区域的位置,再将原始图像转换到 HSV 颜色空间。为了得到原始图像中感兴趣区域的准确亮度值,分别计算每一个区域的亮度均值,然后分析图像亮度直方图,比较图像亮度均值,以确定图像的曝光程度。其中,根据感兴趣区域的亮度直方图,来确定每一区域的亮度权重。最后,根据不同权重值矩阵,求出感兴趣区域的最优曝光时间。

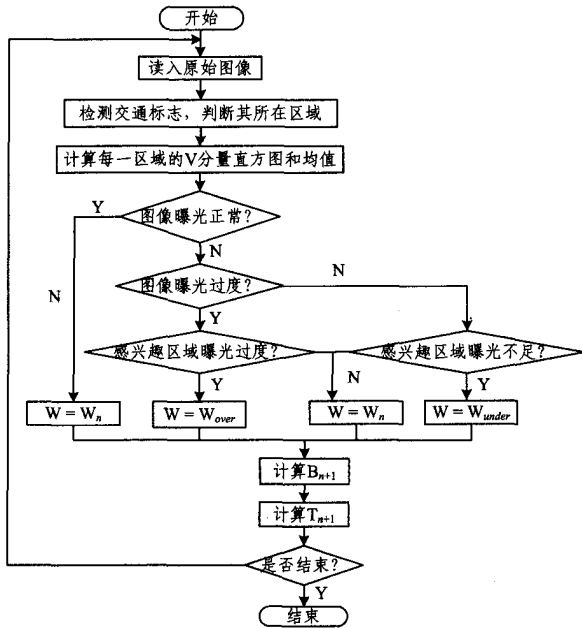


图 1 自动曝光算法流程图

### 2.1 图像分区处理

在户外环境,图像介于天空和地面的中心区域,亮度值往往变化剧烈。天空所在区域的图像不是所需的感兴趣区域,且一般出现在图像的上方。而交通标志一般位于道路的两侧,会出现在图像中的中间。

利用文献[11]的检测算法检测图像中的交通标志,精确定位交通标志的位置。将原始图像划分成 9 个大小相同的区域,并分析交通标志在各个区域的面积大小,将所占面积最大的区域作为感兴趣区域。当在所有区域中均未检测到交通标

志时,则以正中间区域为感兴趣区域。对大量含有交通标志的图像,统计交通标志在 9 个区域中出现的概率,结果如表 1 所列。从表中可以看出,交通标志出现的区域主要是第 5、6、7 区域。这种方式不仅减少了计算量,也保证了总可以在图像中找到一个感兴趣区域。

表 1 交通标志出现区域概率统计表

名称	对应值								
区域	1	2	3	4	5	6	7	8	9
概率(%)	0.1	0.3	3	5.7	38.5	29.9	18.6	3.7	0.2

图 2(a)为在城市环境中采集到的一幅图像,并将其分割为 9 份。为了显示清楚,图 2(b)仅给出含有交通标志区域部分的蓝、红、黄 3 通道的分割图像,从中可以看出,其有效地分割出了交通标志所在的区域。然后利用交通标志的形状和属性信息,对该区域进行初步的判断,用绿色标记检测到的交通标志边缘,如图 2(c)所示。图 2(d)为 HSV 空间中的 V 分量直方图。

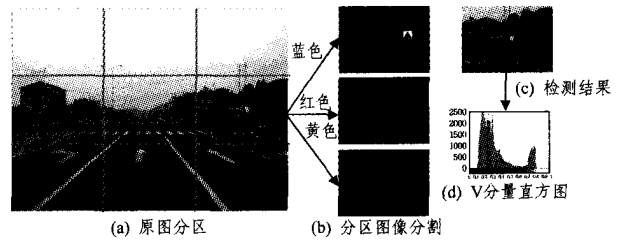


图 2 交通标志的分区检测过程

一般而言,每一个区域亮度环境都不同,如森林、草地、车道、天空等对图像灰度均值及亮度具有较大影响,因此要分析图像中每一个区域的特征。

### 2.2 基于能量的曝光量判断

将场景的亮度看成一种能量,相机在采集图像时,由于曝光的差异,这种能量对图像亮度分布的影响也不同。为了进一步理解这种影响,首先将采集的图像从 RGB 空间转换到 HSV 空间。对 V 分量进行直方图统计,其每一级的统计值对应它的能量强度,级数越高,图像亮度越大。即可以根据能量的聚集区域来判断图像的曝光情况。为此将 V 分量直方图均分为 256 份,计算  $S_1 = \sum_{i=1}^{128} N_i$  及  $S_2 = \sum_{i=129}^{256} N_i$ , V 分量直方图的峰值位置  $V_{LP} = L(\max_{i=1,2,\dots,256} N_i)$ 。通过计算直方图左、右两部分的面积比来判断图像的曝光情况:

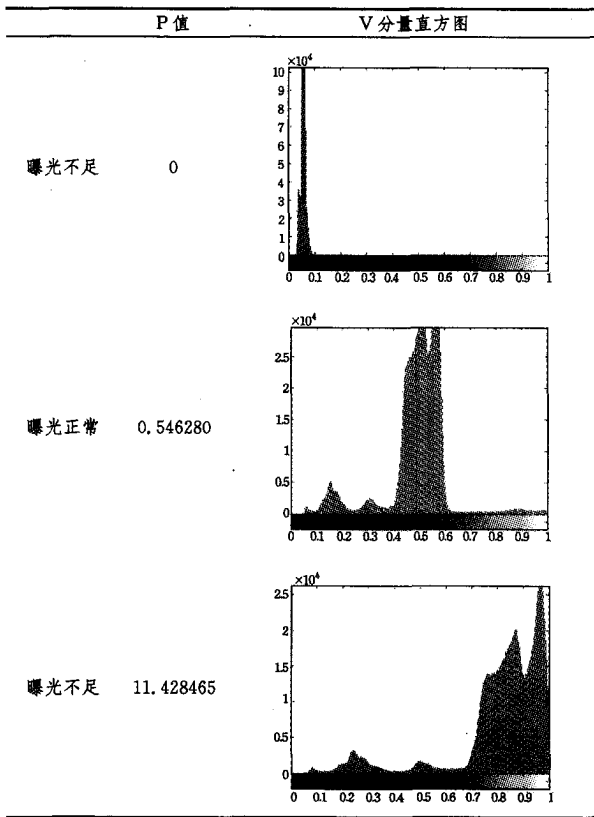
$$P = \begin{cases} S_2/S_1, & S_1 \neq 0 \\ \infty, & S_1 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

当  $S_1$  为 0 时,  $P$  为无穷大,此时一定为曝光过度。通过分析在不同场景下,用不同曝光值采集的图像,根据  $P$  和 V 分量直方图的峰值位置  $V_{LP}$  来划分不同的曝光情况:

$$\text{曝光} \begin{cases} \text{不足}, & V_{LP} < 0.47 \cap P < T_1 \\ \text{过度}, & V_{LP} > 0.53 \cap P > T_2 \\ \text{正常}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

为了确定  $T_1$  和  $T_2$  两个阈值,在相同场景下,将相机的曝光时间从最小变化到最大,能观察到一个场景中图像从曝光不足到曝光过度,  $P$  值的逐渐变化过程。通过比较不同场景下的  $P$  值变化曲线,阈值  $T_1$  和  $T_2$  分别取 0.75 和 2 时,能有效地区分图像的曝光类型。表 2 分别给出了 3 种曝光情况:不足、正常、过度的  $P$  值和 V 分量直方图。

表2 3种曝光情况的分析



2.3 权值选择

整幅图像的亮度直方图尽管包含了曝光信息,但对动态范围较大的户外场景而言,仍然不够准确。图2表明,在原始图像右侧的兴趣区域中包含了灌木丛、树木和道路;非感兴趣区域基本上都是天空。因此分析完整幅图像后,则要分析每一个区域的直方图特征,得到原始图像的曝光程度,以此来调整下一帧图像的权值矩阵。当顶部区域溢出超过40%时,该区域就不能参与权值运算,减少对感兴趣区域的影响。按照背光程度确定不同的权值矩阵,并与不同区域的灰度均值进行加权求和取均值后得到最优亮度值  $B_{n+1}$ :

$$B_{n+1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n w_i \cdot B_i \quad (3)$$

式中,  $N=9$  是图像划分的区域个数。大多数算法使用二次函数来计算权值,明显增加了算法的复杂性,无法应用到实时车载系统。通过多次实验,提出如表3所列的3种权值矩阵模板。模板中的每一个矩阵都增大中央区域和感兴趣区域的权值,减少背景区域的影响,例如在图像顶部的天空背景。

表3 3种权值模板

	曝光不足	曝光正常	曝光不足
权值矩阵模板1	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 6 & 14 & 6 \\ 4 & 8 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 6 & 2 \\ 6 & 10 & 6 \\ 4 & 8 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 4 & 2 \\ 4 & 14 & 4 \\ 4 & 8 & 4 \end{bmatrix}$
权值矩阵模板2	$\begin{bmatrix} 2 & 4 & 2 \\ 6 & 6 & 14 \\ 4 & 8 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 6 & 6 & 10 \\ 4 & 8 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 6 & 4 & 16 \\ 4 & 8 & 4 \end{bmatrix}$
权值矩阵模板3	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 6 & 6 & 4 \\ 14 & 8 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 6 & 6 & 4 \\ 10 & 8 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 4 & 4 & 4 \\ 16 & 8 & 4 \end{bmatrix}$

3 曝光时间计算

一般情况下,控制自动曝光的3个主要因素为:光圈、曝光时间和增益值。图像的亮度值可以用下式表示:

$$LV = \log_2 \frac{100 \times F^2}{G \times T} \quad (4)$$

式中,  $LV$  为亮度值,显示3个因素对图像亮度的影响;  $F$  为光圈值;  $G$  为增益值;  $P$  为曝光时间。当相机的增益值提高时,采集图像中的噪声点也相应增加。因此,在自动曝光控制中,增益值要保持在一个较低的水平。可将式(4)进行变换,得:

$$EV = \log_2 \left( \frac{F^2}{T} \right) \quad (5)$$

式中,  $EV$  为曝光值,表示光圈值  $F$  与曝光时间  $T$  之间的关系。从式(5)可以看出,曝光值与曝光时间成反比,与光圈值成正比。

当前帧图像的亮度值可以表示为曝光参数(光照度,曝光时间,光圈值,增益值)的函数:

$$B_n = f(E, T_n, F_n, G_n) \quad (6)$$

式中,  $B_n$  表示当前帧图像的亮度值,  $E$  表示周围环境的光照度(假定它在短时间内没有改变);  $T_n, E_n$  和  $G_n$  表示当前帧的3个曝光参数。通过修改当前图像的曝光参数可以得到下一帧图像的曝光参数,并产生新的曝光值  $B_{n+1}$ :

$$B_{n+1} = f(E, T_{n+1}, F_{n+1}, G_{n+1}) \quad (7)$$

在智能车图像实时处理系统中,光圈值和增益值一般不变,仅需要修改曝光时间  $T$ 。因此,联立式(5)、式(7)可以推导出:

$$\log_2 T_{n+1} = \log_2 T_n + \log_2 B_{n+1} - \log_2 B_n \quad (8)$$

$T_{n+1}$  是相机的最优调整曝光时间。得到下一帧的最优灰度值后,可以按照上式计算下一帧图像的曝光时间。简化式(8):

$$T_{n+1} = (T_n \times B_{n+1}) / B_n \quad (9)$$

从中可以看出,车载相机的实时调整曝光时间可由下一帧的最优亮度值、当前帧的亮度值以及当前帧的曝光时间计算获得。

4 实验分析

本实验采用 JAI BB-141 相机,实验中采用固定 2.0 光圈,在城市道路环境中,针对不同的场景连续拍摄图像,分辨率为  $1392 \times 1040$ ,帧率为 25 帧/s。

图3(a)(c)(e)(g)为4幅应用本文所提自动曝光算法获得的图像,图3(b)(d)(f)(h)分别是其V分量的直方图,曝光情况如表4所列。从这些图像中可以看出,图像的曝光比较稳定,V分量直方图的分布较为合理,未丢失图像的细节和纹理信息;且图像中的交通标志清晰,对比度较好,适用于无人驾驶车对交通标志感知的要求。

表4 图像曝光情况

图像	VLP	P值	曝光情况
图3(a)	0.6146	1.32145	曝光正常
图3(c)	0.6213	1.78567	曝光正常
图3(e)	0.4523	1.41293	曝光正常
图3(g)	0.3126	0.93246	曝光正常

(下转第307页)

[11] Tao W, Jin H, Zhang Y. Image Thresholding Using Graph Cuts [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A, 2008, 38(5): 1181-1195

[12] 陶文兵, 金海. 一种新的基于图谱理论的图像阈值分割方法[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 110-119

[13] Shi J, Malik J. Normalized Cuts and Image Segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 2000, 22(8): 888-905

[14] Grady L, Schwartz E L. Isoperimetric graph partitioning for image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and

[15] 吴锐, 黄剑华, 唐降龙, 等. 基于灰度直方图和谐聚类的文本图像二值化方法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(10): 2460-2464

[16] Arora S, Acharya J, Verma A, et al. Multilevel thresholding for image segmentation through a fast statistical recursive algorithm [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(2): 119-125

[17] Yasnoff W, Mui J, Bacus J. Error measures for scene segmentation [J]. Pattern Recognition, 1977, 9(4): 217-231

[18] Levine M D, Nazif A M. Dynamic measurement of computer generated image segmentations [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1985, 7(2): 155-164

(上接第 302 页)

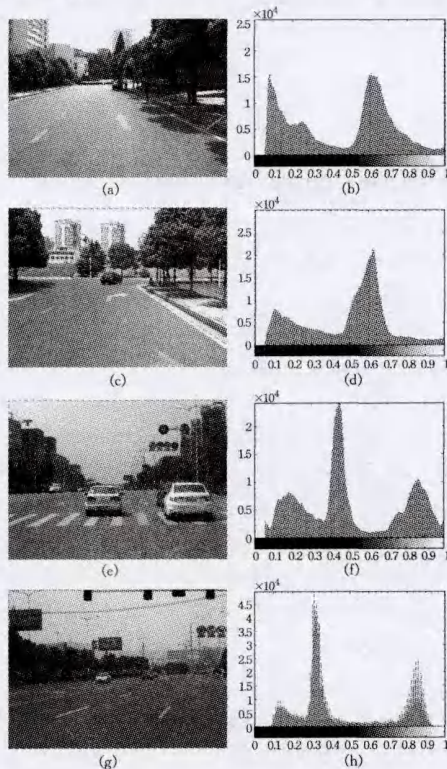


图 3 实验结果图

**结束语** 为了向无人驾驶车感知系统提供清晰且稳定的图像, 本文提出了一种针对工业相机 JAI BB-141 的自动曝光方法。该方法首先在初始帧图像中检测交通标志, 根据检测结果在划分的 9 个区域中确定出感兴趣区域; 然后利用 V 分量直方图来判断图像的曝光情况, 继而依据感兴趣区域的位置和曝光情况来选择权值矩阵; 最后根据下一帧的最优亮度值、当前帧的亮度值以及当前帧的曝光时间来调整相机的曝光时间, 完成车载相机的自动曝光。在不同的场景下进行了多次实验, 结果表明用该方法调整曝光时间后, 获得的图像中交通标志清晰, 细节明显, 对比度好, 并对逆光和背光具有一定的适应性, 能为后续交通标志的检测与识别提供高质量的图像数据。

## 参 考 文 献

[1] Kremens R, Sampat N, Venkataraman S, et al. System implications of implementing auto-exposure on consumer digital cameras [C] // SPIE Electronic Imaging'99 Conference, 1999. San Jose: IEEE, 1999, 3650: 100-107

[2] Shimizu S, Kondo T, Kohashi T. A new algorithm for exposure control based on fuzzy logic for video cameras [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1992, 38(3): 617-623

[3] Murakami M, Honda N. An exposure control system of video cameras based on fuzzy logic using color information [C] // Fifth IEEE International Conference on Fuzzy System, 1996. 1996, 3: 2181-2187

[4] Lee J S, Jung Y Y, Kim B S, et al. An advanced video camera system with robust AF, AE and AWB control [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2001, 47(3): 694-699

[5] Haruki T, Kikuchi K. Video camera system using fuzzy logic [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1992, 38(3): 624-634

[6] Kuno T, Sugiura H, Matoba N. A new automatic exposure system for digital still cameras [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1998, 44(1): 192-199

[7] 杨海涛, 常义林, 王静, 等. 一种基于亮度直方图的自动曝光控制方法 [J]. 光学学报, 2007, 27(5): 841-847

[8] 倪国瑜, 黄昶. 基于亮度直方图宽度的自动曝光方法研究 [J]. 光学仪器, 2009, 31(6): 21-24

[9] Tao Jiang, Kuhnert K D, Nguyen D. Multiple templates auto exposure control based on luminance histogram for onboard camera [C] // IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, 2011. Shanghai: IEEE, 2011: 237-241

[10] Kubota S, Nakano T, Okamoto Y. A Global Optimization Algorithm for Real-Time On-Board Stereo Obstacle Detection Systems [C] // IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Turkey: IEEE, 2007: 7-12

[11] Cai Zi-xing, Gu Ming-qin. Traffic Sign Recognition Algorithm Based on Shape Signature and Dual Tree-Complex Wavelet Transform [J]. Journal of Central South University of Technology, English Edition, 2013, 20(2): 433-439