

# 基于视觉感知和等周割的二维阈值分割算法

邹小林<sup>1</sup> 冯国灿<sup>2</sup>

(肇庆学院数学与信息科学学院 肇庆 526061)<sup>1</sup> (中山大学数学与计算科学学院 广州 510275)<sup>2</sup>

**摘要** 二维阈值分割方法没有考虑人类视觉感知的特性,将整个灰度级区域作为分割阈值的搜索空间。同时等周割图像分割方法没有直接考虑图像的灰度信息以及迭代终止条件难以确定的问题,因而对灰度图像的分割效果不甚理想。因此提出了一种融合视觉感知和等周割的二维阈值分割方法,该方法首先利用视觉感知的特性选择候选阈值向量所在的灰度区域,再将等周割作为准则,从候选阈值向量中选出最小等周率所对应的候选阈值向量作为最佳的分割阈值向量。在一系列图像上的实验结果表明,与几种经典的二维阈值分割方法相比,所提算法的分割效果更好。

**关键词** 图像阈值分割,等周割,阈值向量选择,视觉感知

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A

## Image Thresholding Segmentation Based on Visual Perception and Isoperimetric Cut

ZOU Xiao-lin<sup>1</sup> FENG Guo-can<sup>2</sup>

(School of Mathematics and Information Sciences, Zhaoqing University, Zhaoqing 526061, China)<sup>1</sup>

(School of Mathematics and Computational Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Because the two-dimensional threshold segmentation methods do not consider the characteristic of human visual perception, the search space of these methods is the whole two dimensional gray-level area. At the same time, image segmentation based on isoperimetric cut does not consider the gray intensity and it's iteration terminate condition is difficult to determine, so the effect of image segmentation result using the method is not ideal. In this paper, a novel two-dimensional thresholding method based on visual perception and isoperimetric cut was presented. The proposed method first utilizes characteristics of visual perception to find a gray level vector decided by candidate threshold vectors, then uses isoperimetric cut as a criterion to select the minimum isoperimetric ratio corresponding to the candidate threshold vector as the optimal threshold vector from the candidate threshold vectors. Experimental results on a series of image show that the proposed method outperforms some classic two-dimensional thresholding methods in segmentation quality.

**Keywords** Image thresholding segmentation, Isoperimetric cut, Threshold vector selection, Visual perception

## 1 引言

一般而言,图像分割<sup>[1]</sup>是图像处理的第一步也是关键的一步,因为图像分割的结果可为分析、理解、识别、分类以及跟踪等后续的处理提供基础。阈值法因性能良好、实现方便、计算量小而成为一种备受关注的图像分割方法,已广泛应用于车牌识别、目标检测、指纹鉴定、交通标志分割等领域中<sup>[2]</sup>。

图像的噪声可能导致图像的一维直方图中没有明显的双峰,这导致一维阈值算法对含有噪声的图像的分割效果不理想。针对一维阈值算法抗噪性差的缺点,人们<sup>[3-6]</sup>提出了二维阈值算法,二维阈值算法由于综合考虑了图像中像素的灰度信息和像素点与其邻域像素点之间的空间信息,因此分割噪声图像的效果也比较理想;然而,二维阈值算法提高了算法的时间复杂性,因此人们提出了一些二维阈值算法的快速算法<sup>[7-10]</sup>。

近年来,建立在图论的图像分割技术成了图像分割领域

的一个研究热点,其基本思想是将图的每个节点对应图像的一个像素,连接每两个节点的边的权值表示这两个节点属于同一区域的可能性<sup>[11,12]</sup>。根据图的某种划分方法建立相应的目标函数,求出这些目标函数的最值时就找到了相对应的图像分割。具有代表性的图划分函数有:正则割(Normalized cut<sup>[13]</sup>)和等周割(Isoperimetric cut<sup>[14]</sup>)等。基于像素级的谱聚类算法分割图像通常具有较高的复杂性,实时性较差。因此陶文兵等<sup>[11,12]</sup>采用谱图测度作为阈值分割的准则实现了一种两类图像分割方法,该方法避免了文献[13]中求高阶矩阵的特征值特征向量这种比较耗时的计算。吴锐等<sup>[15]</sup>采用谱聚类算法 Ncut 对直方图的 bin 进行分类,根据 bin 的分类结果分割图像。文献[11,12,15]采用文献[13]的方法求权值矩阵,因此没有降低求相似度矩阵的时间复杂度。Grady 等人<sup>[14]</sup>提出的等周割方法比正则割方法分割图像更稳定、有效,该方法先将图的等周常数问题转化为线性等式系统,再用启发式方法求其近似解。等周割方法不属于传统的阈值分割

到稿日期:2012-08-23 返修日期:2012-11-24 本文受国家自然科学基金项目(60975083,61272338)资助。

邹小林(1975-),男,博士,讲师,主要研究方向为图像处理与模式识别,E-mail: xiaolinzou@gmail.com;冯国灿(1962-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为图像处理、模式识别与计算机视觉。

范畴,其目标是通过求解优化问题获取分割指示向量,从而获得相应的图像分割结果,而不是通过计算某个灰度级作为分割阈值的方式对图像进行分割。等周割方法没有充分利用像素点的灰度信息,导致直接分割灰度图像的效果不甚理想。因此,本文结合等周割和二维阈值分割思想,提出一种有效的二维阈值分割方法。为了减少所提算法的分割时间,利用人类视觉感知的特性来缩小阈值向量的搜索范围,与几种典型的阈值分割算法相比,本文方法的分割效果更好。分割质量的一些定量评价也证实了本文方法的有效性。

## 2 视觉感知

人类视觉感知具有以下特性<sup>[16]</sup>:(1)对位于灰度分布强度较弱的两端点附近的图像特征,人的眼睛往往不敏感,而对于灰度分布强度居中位置附近的图像特征,人的眼睛往往敏感。因此,图像阈值的选择集中在灰度分布居中区域(即灰度均值附近)将是有效的。(2)在图像灰度均值附近,很多图像的直方图具有较高的灰度分布强度。这些图像在灰度均值附近具有更多的图像信息和结构,而远离灰度均值的位置则具有较少的图像信息和结构。

## 3 等周割

设一幅图像具有  $n$  个像素,将这幅图像映射为一个具有拓扑结构的带权无向图  $G=(V,E)$ 。其中,  $V=\{v_i, i=1, \dots, n\}$  为图中节点的集合,  $E=\{e_{ij}\} \subseteq V \times V$  为边的集合。图中每条边赋予一个边权,连接节点  $v_i$  和节点  $v_j$  的边  $e_{ij}$  的权值定义为:

$$w_{ij} = \exp(-\alpha \|f_i - f_j\|_2^2) \quad (1)$$

式中,  $\alpha$  为参数,  $f_i$  表示节点  $v_i$  的灰度值,  $\|\cdot\|_2$  表示矢量的 2 范数。图中节点的度数为  $d_i = \sum w_{ij}, \forall e_{ij} \in E$ 。

图  $G$  的等周常数  $h_G$ <sup>[14]</sup> 定义为:

$$h_G = \inf_S \frac{|\partial S|}{Vol_S} \quad (2)$$

其中,  $S \subseteq V, Vol_S \leq Vol_V/2$ 。因为构造的图的节点个数是有限制,因此式(2)求下确界(inf)等价求最小值(min)。

设  $S$  为图  $G$  的节点子集,定义  $\partial S = \{e_{ij} | v_i \in S, v_j \in \bar{S}\}$ , 其中  $\bar{S}$  为  $S$  相对集合  $V$  的补。

$$|\partial S| = cut(S, \bar{S}) = \sum_{e_{ij} \in \partial S} w_{ij} \quad (3)$$

另外式(2)中  $Vol_S$  的定义<sup>[8]</sup>为:

$$Vol_S = \sum_i d_i, \forall v_i \in S \quad (4)$$

定义  $G$  的节点子集  $S$  的等周率<sup>[14]</sup>为:

$$h(S) = \frac{|\partial S|}{Vol_S} \quad (5)$$

结合式(2)~式(4),等周常数  $h_G$  重新表示为:

$$h_G = \inf_S \frac{|\partial S|}{Vol_S} = \min_S \frac{|\partial S|}{Vol_S} = \min_S \frac{cut(S, \bar{S})}{\min(d_S, d_{\bar{S}})} \quad (6)$$

式中,  $cut(S, \bar{S})$  为图的两个划分部分( $S$  和  $\bar{S}$ )之间的权值之和。式(6)的意义可理解为寻找图  $G$  的划分  $S$  和  $\bar{S}$ , 使得  $S$  和  $\bar{S}$  两个集合的节点之间相似性越小越好,同时它们的内部节点间相似性越大越好。这符合图像分割的目的。

## 4 二维直方图

设  $f(m, n)$  表示原始图像的坐标  $(m, n)$  处的像素灰度值,

$g(m, n)$  表示局部均值图像的坐标  $(m, n)$  处的像素值,则:

$$g(m, n) = floor\left(\frac{1}{w \times w} \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-a}^a f(m+i, n+j)\right) \quad (7)$$

式中,  $floor()$  为下取整函数,  $w$  表示像素局部邻域窗口宽度,  $g(m, n) \in G$ 。假设用  $h_{ij}$  表示  $f(m, n)=i, g(m, n)=j$  的灰度级点对  $(i, j)$  出现的频度<sup>[4]</sup>, 则图像的二维归一化概率直方图为:

$$p_{ij} = h_{ij} / (M \times N), i, j = 0, 1, \dots, L-1 \quad (8)$$

且  $\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij} = 1$ 。图像二维直方图如图 1(a) 所示。

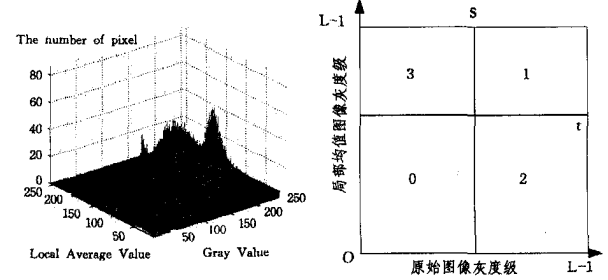


图 1 二维直方图及其区域划分

假设  $(s, t)$  是一阈值点,根据图 1(b) 所示的二维直方图的投影图的区域划分方法把二维直方图划分为 4 个区域,其中区域 0 表示图像的背景(或前景),区域 1 表示前景(或背景),区域 2 和区域 3 表示边缘和噪声。获取最佳分割阈值后,图像二维阈值化方式为:

$$\psi(m, n) = \begin{cases} 0, & f(m, n) \leq s \text{ 且 } g(m, n) \leq t \\ 1, & f(m, n) > s \text{ 或 } g(m, n) > t \end{cases} \quad (9)$$

定义区域 0、区域 1、区域 2 和区域 3 的总概率为:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t p_{ij} \quad (10)$$

$$\omega_1 = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} p_{ij} \quad (11)$$

$$\omega_2 = \sum_{i=s+1}^L \sum_{j=0}^t p_{ij} \quad (12)$$

$$\omega_3 = \sum_{i=0}^s \sum_{j=t+1}^{L-1} p_{ij} \quad (13)$$

用图 1(b) 中区域 0、区域 1、区域 2 和区域 3 的概率和  $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3$  重新表示式(6):

$$h_G = \inf_S \frac{|\partial S|}{Vol_S} = \min_S \frac{|\partial S|}{Vol_S} = \min_S \frac{(\omega_2 + \omega_3) / 2}{\min(\omega_0, \omega_1)} \quad (14)$$

## 5 本文算法

通过人类视觉感知的特性来选取灰度图像和局部均值图像的候选阈值的灰度区间,再把等周割引入到二维阈值分割中,并从灰度图像和局部均值图像的候选阈值构成的候选阈值向量中选出对应最小等周常数  $h_G$  的阈值向量作为分割阈值向量,并用该阈值向量分割图像。本文方法与文献[14]的本质区别是:本文方法属于二维阈值分割范畴,而文献[14]的方法通过求解等周常数  $h_G$  而导出的一个线性等式系统来获取图像分割的指示向量,再将某种规则指示向量的元素,即对应分图像的像素分为两类,实现了图像的两类分割。本文方法分割图像得到的区域可以是连通的或者是非连通的,而文献[14]的方法分割的每个区域都是连通的。

### 5.1 候选阈值的确定

提出的方法采用人类视觉感知的特性,通过预先确定阈

值向量的候选区域,缩小了分割阈值向量的搜索空间范围,降低了分割图像的时间,提升了分割性能。候选阈值区域的确定过程如下:

(1) 设一幅图像的灰度级为 $[0, 1, \dots, L-1]$ , 本文 $L$ 取为256。 $n_i$ 表示图像中灰度级为 $i$ 的像素的个数, 图像的像素总数为 $n=n_0+n_1+\dots+n_{L-1}$ 。图像灰度值的均值和标准偏差定义为:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{L-1} i n_i \quad (15)$$

$$\sigma = \left( \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{L-1} (i-\mu)^2 n_i \right)^{1/2} \quad (16)$$

(2) 根据式(17)、式(18)计算两个灰度级:

$$t_1 = \mu - \sigma \quad (17)$$

$$t_2 = \mu + \sigma \quad (18)$$

(3) 候选阈值区间定义为:

$$[t_L, t_R] = [t_1, t_2] \cap [0, 255] \quad (19)$$

该图像的局部均值图像类似定义候选区间 $[t_D, t_U]$ , 则区域 $Z_T = \{(s, t) | s \in [t_L, t_H] \text{ 且 } t \in [t_D, t_U]\}$ 为二维直方图的候选阈值向量区域, 再把等周制作为阈值向量选择的准则, 从候选阈值区域中选出最终的分割阈值向量。

## 5.2 分割阈值向量的确定

为了确定分割阈值向量, 需要计算全部候选阈值向量对应的等周常数 $h_G$ , 并从中选出最小等周常数 $h_G$ 对应的候选阈值向量作为分割阈值向量。在图像的二维直方图已知时, 给定一个候选阈值向量 $(s, t)$ , 其对应等周常数 $h_G$ 的计算过程为:

(1) 计算图像的二维直方图, 并计算原始图像和局部灰度均值图像的一维直方图。

(2) 采用式(15)、式(16)分别计算图像和局部灰度均值图像的一维直方图的均值和标准偏差。

(3) 采用式(17)、式(18)分别计算图像和局部灰度均值图像的候选阈值的上下限值。

(4) 采用式(14)计算阈值向量 $(s, t)$ 对应的等周常数 $h_G$ 。

(5) 采用最小的等周常数 $h_G$ 对应的阈值向量 $(S, T)$ 分割图像, 获得图像的分割结果。

## 5.3 算法流程

假设向量 $(s, t)$  (其中 $t_L \leq s \leq t_R, t_D \leq t \leq t_U$ )表示候选阈值向量,  $(S, T)$ 为分割阈值向量, 最小等周率记为 $Minratio$ 。所提算法的流程如图2所示。



图2 本文算法的流程

## 6 实验

为了验证本文提出的方法在图像分割上的有效性, 采用了两种分割质量评价准则: 分类误差(ME)<sup>[17]</sup>和均匀性(U)<sup>[18]</sup>来评价图像的分割效果。

分类误差(ME, Misclassification Error)<sup>[17]</sup>是最常见的图像分割为两类时的分割质量评价准则。ME的定义如下:

$$ME = 1 - \frac{|B_O \cap B_T| + |F_O \cap F_T|}{|B_O| + |F_O|} \quad (20)$$

文献[18]提出的均匀性(Uniformity)是一种常见的图像分割质量评价准则。该准则的表达式为:

$$U = 1 - 2 \times c \times \frac{\sum_{j=0}^c \sum_{i \in R_j} (f_i - \mu_j)^2}{N \times (f_{\max} - f_{\min})^2} \quad (21)$$

式(20)、式(21)中的参数参考文献[17, 18]。

### 6.1 实验结果及分析

本文做了两组实验来验证本文算法的有效性。实验1是对3幅简单的图像进行2类分割, 将本文方法与文献[7, 8, 11, 15]作对比实验。为了量化图像的分割质量, 该组实验采用分类误差(ME)<sup>[17]</sup>。该组实验用到的参考图像是通过手动分割方式获得的。实验2是对3幅比较复杂的图像进行2类分割, 将本文方法与文献[7, 8, 11, 15]在分割复杂图像时作对比实验。该组实验采用均匀性(U)<sup>[18]</sup>作为图像分割质量评价准则。

所有实验均在双核2.93GHz, Intel Core处理器, 3.25GB内存, Windows XP系统的PC机上执行, 采用Matlab 7.8.0编写。实验中的图像大小均为90×90。



图3 简单图像的分割结果

实验1 如图3所示, 从视觉上看分割结果, 这5种算法都能比较好地分割出图3(a)中的目标, 所得分割结果与参考

图像比较接近。文献[8]和本文方法对图 3(b)的分割效果比其它 3 种算法要好;而文献[8]对图 3(c)的分割效果比其它 4 种算法要差。定量比较如表 1—表 3 所列。

从表 1 中可以看出,本文算法的运行速度远远快于文献[7,8,11,15]算法的运行速度,约是文献[11]算法的 48.0 倍;约是文献[15]算法的 52.8 倍;约是文献[7]算法的 2.6 倍;约是文献[8]算法的 3.6 倍。算法的阈值见表 2。

表 1 分割图 3 中图像的时间和平均时间

图像	文献[11]	文献[15]	文献[7]	文献[8]	本文方法
图 3(a)	0.9615	1.0479	0.0517	0.0722	0.0199
图 3(b)	0.8561	0.9691	0.0521	0.0716	0.0200
图 3(c)	1.0636	1.1522	0.0508	0.0703	0.0201
时间均值	0.9604	1.0564	0.0515	0.0714	0.0200

表 2 分割图 3 中图像的阈值

图像	文献[11]	文献[15]	文献[7]	文献[8]	本文方法
图 3(a)	83	101	(52,134)	(152,152)	(96,95)
图 3(b)	52	44	(130,59)	(114,118)	(91,90)
图 3(c)	68	30	(27,107)	(144,143)	(55,57)

从表 3 中可以看出,本文算法的分类误差(ME)均值都低于文献[7,8,11,15]的分类误差(ME)均值,约是文献[11]的 67.85%;约是文献[15]的 57.75%;约是文献[7]的 57.16%;约是文献[8]的 42.73%。这说明本文方法的分割效果好于文献算法的效果。

表 3 分割图 3 中图像的分类误差(ME)值和 ME 均值

图像	文献[11]	文献[15]	文献[7]	文献[8]	本文方法
图 3(a)	0.0270	0.0362	0.0493	0.1294	0.0325
图 3(b)	0.1884	0.2062	0.1927	0.0428	0.1083
图 3(c)	0.0299	0.0459	0.0494	0.2174	0.0256
ME 均值	0.0818	0.0961	0.0971	0.1299	0.0555

实验 1 的分割结果和定量分析表明:本文算法的分割图像的平均时间比相应文献的低,且分类误差(ME)均值比 4 种文献方法的低,说明所提算法分割效果更好。

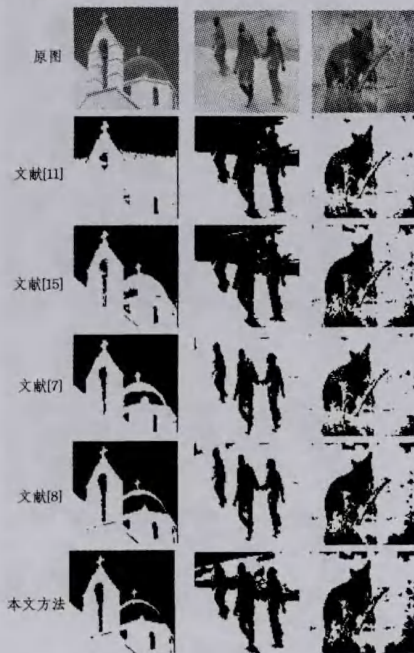


图 4 复杂图像的分割结果

实验 2 如图 4 所示,从视觉上看分割结果,这 5 种算法

对图 4(c)都能比较好地分割出图中的目标。文献[11]对图 4(a)的分割效果最差。文献[11,15]对图 4(b)的分割效果较差。分割结果的定量比较如图 4、表 5 所示。

从表 5 的均匀性均值来看,本文算法的均匀性值  $U$  的均值是 0.9709,高于文献[7,8,11,15]算法的均匀性值  $U$  的均值。因此本文算法的分割图像的效果更好。

表 4 分割图 4 中图像的阈值

图像	文献[11]	文献[15]	文献[7]	文献[8]	本文方法
图 3(a)	97	110	(195,128)	(143,155)	(151,153)
图 3(b)	198	195	(137,201)	(142,145)	(178,178)
图 3(c)	102	120	(100,160)	(126,128)	(132,132)

表 5 分割图 4 中图像的均匀性值( $U$ )和  $U$  均值

图像	文献[11]	文献[15]	文献[7]	文献[8]	本文方法
图 4(a)	0.7966	0.9060	0.9188	0.9563	0.9578
图 4(b)	0.9963	0.9958	0.9565	0.9583	0.9863
图 4(c)	0.9485	0.9647	0.9465	0.9647	0.9687
$U$ 均值	0.9138	0.9555	0.9406	0.9598	0.9709

**结束语** 传统的二维阈值分割方法将整个二维灰度级区域作为分割阈值向量的搜索空间,而没有考虑人类视觉感知的特性。等周割方法作为一种具有代表性的基于图论的图像分割方法,因为存在没有直接考虑图像的灰度信息和难以确定迭代终止条件的问题,所以对灰度图像分割的效果不甚理想。为此,本文提出一种融合视觉感知和等周割的二维阈值分割方法。该方法首先采用人类视觉感知的特性确定一个候选阈值向量区域;再将等周割作为选择分割阈值向量的准则,选取最小等周常数所对应的候选阈值向量作为最佳阈值向量来分割图像。实验结果表明,相对于现有的几种经典阈值分割方法,本文方法的分割效果更好。图像分割质量评定指标的评测结果也证实了本文方法的有效性。

## 参考文献

- [1] 董立菊. 图像阈值化技术的综述、分类及评价[J]. 沈阳大学学报, 2004, 16(4): 8-11
- [2] 潘喆. 智能交通 X 图像阈值分割方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010
- [3] Abutaleb A. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-Dimensional entropy[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1989, 47(1): 22-32
- [4] 刘建庄, 栗文青. 灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割法[J]. 自动化学报, 1993, 19(1): 101-105
- [5] Sahoo P, Arora G. A thresholding method based on two-dimensional Renyi's entropy[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(6): 1149-1161
- [6] Sahoo P, Arora G. Image thresholding using two-dimensional Tsallis-Havrada-Charvat entropy[J]. Pattern Recognition, Letters, 2006, 27(6): 520-528
- [7] 汪海洋, 潘德炉, 夏德深. 二维 Otsu 自适应阈值选取法的快速实现[J]. 自动化学报, 2007, 33(9): 968-971
- [8] Gong J, Li L Y, Chen W N. Fast recursive algorithm for two-dimensional thresholding[J]. Pattern Recognition, 1998, 31(3): 295-300
- [9] 郝颖明, 朱枫. 2 维 Otsu 自适应阈值的快速算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(4): 484-488
- [10] 龚坚, 李立源, 陈维南. 二维熵阈值分割的快速算法[J]. 东南大

[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)

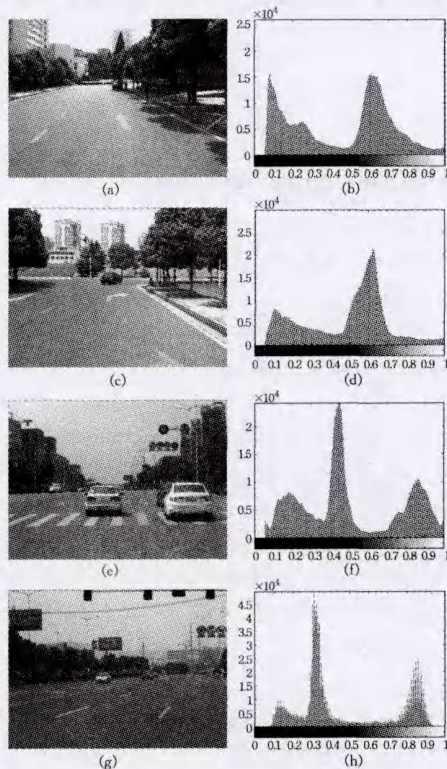


图 3 实验结果图

**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