

基于背景像素突变检测的交通标志图像分割^{*}

申中鸿, 付梦印, 杨毅, 王美玲

(北京理工大学自动化学院, 北京 100081)

摘要: 为了提高交通标志图像处理过程的效果与效率, 根据交通标志图像色彩饱和度空间的灰度直方图中包含的点灰度与区域灰度信息, 提出了一种有效确定交通标志图像全局分割阈值的算法。首先分析了基于交通标志图像色彩饱和度空间灰度直方图的一种倒溯标准差的变化规律; 然后在此基础上提出了如何选取全局图像分割阈值的方法, 并采集了大量交通标志图像进行实验验证, 同时, 与另外两种在 HIS 空间下常用的图像分割方法的分割效果进行了对比; 最后对算法中的部分参数与实验结果进行了分析, 并指出了下一步的研究方向。该算法是一种有效的交通标志图像阈值选取方法, 可推广到图像处理其他方面的应用。

关键词: 交通标志图像; 背景像素; 突变检测; 灰度直方图; 分割阈值

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)09-3531-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.088

Traffic sign image segmentation method based on background pixels mutation analysis

SHEN Zhong-hong, FU Meng-yin, YANG Yi, WANG Mei-ling

(School of Automation, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: To improve the effect and efficiency of processing traffic sign images, this paper put forward an effective algorithm to obtain the global segmentation threshold based on the histogram information of traffic sign image in color saturation space, the point grey information and region grey information especially. It confirmed a variation of return-standard deviation based on the histogram information of saturation space. And then proposed a method to obtain the global segmentation threshold. It collected and tested a number of traffic sign images, and made some comparison between other common segmentation methods in HIS space with this algorithm on the basis of the segmentation results of the tested traffic sign images. Finally, it discussed the relationship between some parameters in the algorithm and experimental results, which show that this algorithm is effective in selecting segmentation threshold of traffic sign images and can be generalized to other aspects of image processing fields.

Key words: traffic sign image; background pixels; mutation analysis; histogram; segmentation threshold

0 引言

HIS 彩色空间以色调 (hue)、饱和度 (saturation) 和强度 (intensity) 三种基本特征量来感知和描绘物体颜色, 更符合人类的视觉色彩感知方式。HIS 色彩空间中的饱和度分量, 指的是色彩的纯度, 以阳光的光谱色为标准, 越接近光谱色, 色彩饱和度越高。饱和度灰度值为百分比, 介于 0% ~ 100%, 纯白光色彩饱和度为 0, 而纯彩色光的饱和度则为 100%。图像的色彩饱和度空间 (S 空间) 可以很好地消除光照的影响^[1]。

一幅交通标志图像由交通标志牌和生活背景组成, 交通标志牌通常为包含特定颜色的特定形状区域。对于国内的交通标志而言, 其构成颜色通常为黄色、红色、蓝色、白色 (通常与前面三种颜色结合使用并被其包围) 等几种颜色。黄色、红色、蓝色反映到图像的 S 空间下, 具有较高的灰度值。因此, 在交通标志图像 S 分量的灰度直方图中, 相对于交通标志区域的较高的灰度值范围而言, 图像背景的大部分像素表现出的特征是分布在一段连续的低灰度值范围内, 可以用此特征对交通标

志图像进行快速高效的分割处理^[2]。

HIS 空间下的分割方法除传统的基于灰度直方图信息而确定图像分割阈值之外, 主要有经验阈值法、色彩判断法、迭代法等。经验阈值的主要思想是利用实验基础上的经验阈值对图像进行分割, 该方法的实时性非常好, 但是分割效果较差, 针对某一条件下图像的阈值对另一条件下的图像往往不适用^[3]。色彩判断法主要思想是利用 HIS 空间中的 H 空间和 S 空间的灰度值对图像进行分割, 即根据同一像素位置的饱和度灰度值和色调灰度值的取值范围, 从而判断原图中对应位置的像素是属于红色、蓝色和黄色中的哪一类。该方法属于经验值判断法, 虽然时间复杂度是线性的 ($T(n)$), 但是有效性不高, 当图像背景很复杂的时候 (如有阴影、色彩干扰、光照干扰等), 利用该方法分割图像时交通标志往往会淹没于背景^[4]。迭代法的主要思想是从初始分类开始, 计算分类之后的错误分割概率, 并通过不断地分类迭代, 使最终的分错错误概率最小^[5]; 当背景对交通标志有一定干扰时, 该方法的分割效果也不理想。考虑到灰度直方图信息的全面

收稿日期: 2012-02-08; **修回日期:** 2012-03-20 **基金项目:** 北京市自然科学基金重点资助项目 (4101001); 国家自然科学基金资助项目 (61173076, 61105092, 61004139)

作者简介: 申中鸿 (1987-), 男, 重庆人, 硕士, 主要研究方向为智能车的交通标志图形处理 (ashowszh@126.com); 付梦印 (1964-), 男, 内蒙古人, 长江学者, 教授, 博导, 主要研究方向为组合导航与智能导航; 杨毅 (1979-), 男, 河北人, 讲师, 博士, 主要研究方向为组合导航与智能导航; 王美玲 (1970-), 女, 山东人, 教授, 博士, 主要研究方向为新型传感器技术、组合导航与智能导航。

性与直观性,本文对基于灰度直方图的图像分割方法进行了深入研究。

最经典的基于灰度直方图的图像分割算法是由 Ostu^[6,7] 提出的,其思想是利用穷举法,对灰度直方图中每一种分类都计算其类间方差,并求取最大的类间方差,再据此对图像进行分割。该算法的时间复杂度为 $T[n^2]$,可以比较完整地将交通标志保存下来,但同时也保留了大部分的背景像素,给图像分割之后的检测和识别过程带来了一些干扰。之后,Steger 等人^[8]指出,采用基于图像灰度直方图的自动确定图像分割阈值的方法,首先要对图像进行平滑处理,即将直方图与一个一维高斯滤波器进行卷积运算,然后选定一个合适的高斯滤波器 σ 值,直到可以从平滑后的直方图中得到两个唯一的最大值和它们之间唯一的最小值,并以此最小值对图像进行分割。最大熵法^[9,10]包含一维最大熵法和二维最大熵法。一维最大熵阈值法基于图像的原始直方图,仅仅利用了点灰度信息,而未充分利用图像的空间信息,所以当图像信噪比降低时,分割效果并不理想。二维最大熵法利用图像中各个像素的点灰度值及其区域灰度均值生成二维直方图,并以此为依据选取最佳阈值,其对不同目标大小和信噪比的图像均产生很好的分割效果,是一种高精度的阈值选取方法,但是由于需要处理二维信息,实时性受到了相当大的影响。

灰度直方图反映了整个图像的点灰度分布情况,但同时也反映了一定的图像区域性,即图像的背景区域性:背景的大部分像素总是集中在一段连续的低灰度值区间内。因此,可以利用此背景灰度值分布特点对图像进行分割,从而在有效性与实时性上都取得满意的结果。交通标志图像具备独有特征,即特定的颜色和特定的形状区域,而图像背景的大部分像素相对于交通标志区域而言,在 S 空间下总是分布在一段连续的低灰度值区间内。本文提出了一种新的全局阈值选取方法,即倒溯组内标准差法,其主要思想是在交通标志图像的 S 空间下,分析其灰度直方图的倒溯组内标准差规律而得出的一种有效的图像分割方法。本算法图像分割效果明显,在保留交通标志的同时,只保留了尽可能少的一些背景干扰像素,极大地提高了检测效率,方便了后面的标志检测和识别过程。

1 算法描述

1.1 问题定义

一幅交通标志图像的 S 分量总共有 256 个灰度级,分别为 $\{0, 1/255, \dots, 254/255, 255/255\}$, 每一个灰度值都对应着一定的像素数。定义 m_1 表示图像里面的交通标志区域, m_2 表示图像里面除交通标志之外的所有部分,称为图像背景。图像分割的目标是将图像分为两类 m_1 和 m_2 , 使 m_1 和 m_2 尽可能地避免重叠,即使两类差异尽可能地最大,而在 m_1 的边界向 m_2 伸展的时候,必然存在一个伸展开始突变的地方(背景区域性的开始点),以此突变的前一点对应的灰度值对图像进行分割,就可以将 m_1 和 m_2 尽可能地分开。因此,本文将图像分割的问题转换为寻找背景区域的开始点,即研究灰度直方图上的灰度值对应的像素数的大量突变问题。如前所述,由于单点灰度信息的片面性,本文引入了倒溯组内标准差,来研究数据的突变问题^[11,12]。

定义倒溯组内标准差的概念为:在交通标志图像的 HIS 空间下,对于 S 分量的灰度值集合 $\{0, 1/255, \dots, 254/255, 255/255\}$, 从最高的灰度值 $255/255$ 开始往低灰度值计数,以连续的 $q, 2q, \dots, nq$ ($256 \geq nq, q \in Z, n \in Z$) 个灰度值各作为一组,计算每组包含的所有灰度值所对应的像素数的标准差,并分别记为 $S[1], S[2], \dots, S[n]$, 由于是从高灰度值往低灰度值方向计算,称其为倒溯组内标准差。其中, q 称为步长,即每组数据的增长长度,理论上的取值范围为 $[1, 256]$, n 为相应的组内标准差的组数,理论取值范围为 $[1, 256/q]$ 。步长 q 越长,组内标准差数越少,其变化规律就越不准确;步长 q 越短,组内标准差的变化规律越明显,但是计算时间相对延长。因此,在实验验证的基础上,本文规定 q 的取值范围为 $[1, 5]$ 。接下来,定义 x_i 表示交通标志图像的 S 分量中第 i 个灰度值 $(256 - i)/255$ 对应的像素数,其中 $i \in [1, 256]$, 则有

$$S[1] = std(x_1, x_2, \dots, x_q) \quad (1)$$

$$S[2] = std(x_1, x_2, \dots, x_q, x_{q+1}, \dots, x_{2q}) \quad (2)$$

⋮

$$S[n] = std(x_1, x_2, \dots, x_q, x_{q+1}, \dots, x_{nq}) \quad (3)$$

标准差 std 的计算公式为

$$std(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

而平均值 $\bar{x}$ 的计算式为

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

1.2 S 空间下交通标志图像的倒溯组内标准差变化规律

基于交通标志图像 S 空间下的灰度直方图,可计算得到 $256/q$ 组组内倒溯标准差。交通标志图像 S 分量的特征为:具有低灰度值的背景 m_2 拥有绝大多数的像素数,而具有高灰度值的交通标志区域 m_1 只占有少数的像素数。那么,在交通标志图像 S 空间下的灰度直方图中,从最大的灰度值 $255/255$ 往低灰度值方向计数,设到第 $(n+1)q$ 个灰度值 $[256 - (n+1)q]/255$ 处,图像背景像素开始大量出现,则倒溯组内标准差从 $S[1]$ 到 $S[n+1]$ 总体呈上升趋势,并且至少有一个局部单调递增区间。下面对此规律给出数学证明。

命题 在交通标志图像的 S 分量的灰度直方图中,设 x_i 与 x_j 分别表示从最大的灰度值 $255/255$ 往低灰度值方向计数时的第 i 与第 j 个灰度值对应的像素数,若 $x_j > x_i, j \in [nq+1, (n+1)q], i \in [1, nq]$, 那么有 $S[n+1] > S[n]$ 。

证明 首先定义如下的函数、符号、公式及其意义为

$$f(n) = S[n] = std(x_1, x_2, \dots, x_{nq}), nq \leq 256$$

根据式(4),对函数 $f(n)$ 有

$$f(n) = \sqrt{\frac{1}{nq-1} \sum_{i=1}^{nq} (x_i - \bar{x}_{nq})^2} = \sqrt{\frac{1}{nq-1} (\sum_{i=1}^{nq} x_i^2 - nq \bar{x}_{nq}^2)} \quad (6)$$

$$S_n = \sum_{i=1}^{nq} x_i^2 \quad (7)$$

$$T_n = \sum_{i=1}^{nq} x_i \quad (8)$$

$$\bar{x}_{(n+1)q} = \frac{1}{(n+1)q} \sum_{i=1}^{(n+1)q} x_i \quad (9)$$

$$\bar{x}_{nq} = \frac{1}{nq} \sum_{i=1}^{nq} x_i \quad (10)$$

令

$$Q = f^2(n+1) - f^2(n) =$$

$$\frac{1}{(n+1)q-1}(\sum_{i=1}^{(n+1)q} x_i^2 - (n+1)q \bar{x}_{(n+1)q}^2) - \frac{1}{nq-1}(\sum_{i=1}^{nq} x_i^2 - nq \bar{x}_{nq}^2) = \quad (11)$$

$$\frac{1}{(n+1)q-1} \left[S_n + \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i^2 - (n+1)q \left(\frac{T_n + \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i}{(n+1)q} \right)^2 \right] - \frac{1}{nq-1} \left[S_n - nq \left(\frac{T_n}{nq} \right)^2 \right] = \quad (12)$$

$$\frac{1}{(n+1)q-1} S_n + \frac{1}{(n+1)q-1} \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i^2 - \frac{1}{(n+1)q-1} \frac{T_n^2 + 2T_n \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i + (\sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i)^2}{(n+1)q} - \frac{1}{nq-1} S_n + \frac{1}{nq-1} \frac{T_n^2}{nq} = \quad (13)$$

$$\frac{-q}{[(n+1)q-1](nq-1)} S_n + \frac{(n+1)q-1}{[(n+1)q-1](n+1)q} \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i^2 + \frac{(2n+1)q^2-q}{(nq-1)nq[(n+1)q-1](n+1)q} T_n^2 - \frac{2T_n \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i + \sum_{i \neq j, i=nq+1, j=nq+1} x_i x_j}{[(n+1)q-1](n+1)q} \quad (14)$$

式(14)两边同乘 $nq(n+1)q(nq-1)[(n+1)q-1]$, 有

$$nq(n+1)q(nq-1)[(n+1)q-1]Q = - (n^2+n)q^3 S_n + [(2n+1)q^2-q]T_n^2 - (n^2q^2-nq)2T_n \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i - (n^2q^2-nq) \sum_{i \neq j, i=nq+1, j=nq+1} x_i x_j + [(n^3+n^2)q^3 - (2n^2+n)q^2+nq] \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i^2 = \quad (15)$$

$$[(2n+1)q^2-q] \left[T_n - \frac{(n^2q^2-nq) \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i}{(2n+1)q^2-q} \right]^2 - \frac{(n^2q^2-nq)^2}{(2n+1)q^2-q} (\sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i)^2 + [(n^3+n^2)q^3 - (2n^2+n)q^2+nq] \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i^2 - (n^2q^2-nq) \sum_{i \neq j, i=nq+1, j=nq+1} x_i x_j - (n^2+n)q^3 S_n \geq \quad (16)$$

$$[(n^3+n^2)q^3 - (2n^2+n)q^2+nq] \times \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i^2 - \frac{(n^2q^2-nq)^2}{(2n+1)q^2-q} (\sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i)^2 - (n^2q^2-nq) \sum_{i \neq j, i=nq+1, j=nq+1} x_i x_j - (n^2+n)q^3 \sum_{i=1}^{nq} x_i^2 \quad (17)$$

根据 Cauchy 不等式, 有

$$(\sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i)^2 < q \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i^2 \quad (18)$$

则式(17)更新为

$$> \frac{(n^4+3n^3+n^2)q^4 - (3n^3+5n^2+n)q^3 + (3n^2+2n)q^2 - nq}{(2n+1)q-1} \times \sum_{i=nq+1}^{(n+1)q} x_i^2 - (n^2q^2-nq) \sum_{i \neq j, i=nq+1, j=nq+1} x_i x_j - (n^2+n)q^3 \sum_{i=1}^{nq} x_i^2 \quad (19)$$

当背景像素开始大量出现的时候, 在 q 的取值范围 $[1, 5]$ 内, 可认为 x_i 的值近似相等并记为 X , 其中 $i \in [nq+1, (n+1)q]$, 并且有

$$\sum_{i \neq j, i=nq+1, j=nq+1} x_i x_j < \frac{q(q-1)}{2} X^2 \quad (20)$$

不失一般性地设 $x_i (i \in [1, nq])$ 中有

k_1 个值包含于区间 $\Phi_1 = [\frac{1}{2}X, X]$;

k_2 个值包含于区间 $\Phi_2 = (0, \frac{1}{2}X]$;

k_3 个值等于 0。

其中: $k_1 + k_2 + k_3 = nq$; 通常说来, $k_1 < \frac{1}{4}nq, k_3 \neq 0$ 。注意到对

k_1, k_2, k_3 的限定条件在实际的交通标志图像 S 分量的灰度直方图中一般总是满足的。对 $x_i (i \in [1, n])$ 进行重新排序, 使前 k_1 个 x_i 的值包含于区间 Φ_1 , 第 k_1+1 到第 k_1+k_2 个 x_i 的值包含于区间 Φ_2 , 而从第 k_1+k_2+1 到第 nq 个 x_i 的值都等于 0。则式(19)更新为

$$> \frac{(n^4+3n^3+n^2)q^4 - (3n^3+5n^2+n)q^3 + (3n^2+2n)q^2 - nq}{2n+1} X^2 - \frac{(n^2q^2-nq)q(q-1)}{2} X^2 - (n^2+n)q^3 \left(\frac{1}{4}nqX^2 + \frac{3}{4} \frac{1}{4}nqX^2 \right) \quad (21)$$

注意到, 当背景大量出现时, n 的值总是大于 25 (对应分割灰度值小于 0.9), 那么式(21)更新为

$$= \left[\frac{(n^4+3n^3+n^2)q^4 - (3n^3+5n^2+n)q^3 + (3n^2+2n)q^2 - nq}{2n+1} - \frac{n^2q^4 - (n^2+n)q^3 + nq^2}{2} - \frac{7}{16}(n^3+n^2)q^4 \right] X^2 > 0$$

则

$$Q = f(n+1) - f(n) = S[n+1] - S[n] > 0$$

证明完毕。

1.3 基于倒溯组内标准差变化规律的图像分割阈值选取

从前面的证明中, 已经知道了倒溯组内标准差的总体变化趋势。考虑到倒溯组内标准差的定义是从高到低的, 每次增加连续的 q 个灰度值对应的像素数来计算标准差, 那么当组内标准差开始突变激增的时候, 一定对应着这次增加灰度值的像素数比以前有大幅突变(变大), 若是以此次增加的 q 个灰度值的右边界对图像进行分割, 那么分割之后的两类, 差异性一定最大(针对同一步长 q)。因此, 接下来的任务是研究如何从已经得到的倒溯组内标准差曲线当中, 找出数据增加的突变点。

注意到, 基于交通标志图像 S 分量的倒溯组内标准差曲线 $S[i]$ 可能存在多个局部单调递增区间, 但是满足图像背景像素点开始大量出现的单调递增区间只有一个。设图像背景从灰度值 θ 开始大量出现, 则 θ 对应的像素数远大于灰度值 $\alpha (\alpha > \theta \text{ 且 } \alpha \in [0, 1])$ 对应的像素数。因此为消除干扰和减少处理时间, 本文只在每一个单调递增局部区间内寻找倒溯组内标准差的生长突变点, 并按照突变的剧烈程度, 从中选定交通标志区域向图像背景延伸的像素突变点。

给出一幅典型的倒溯组内标准差变化曲线如图 1 所示。

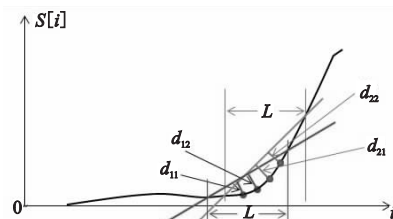


图1 倒溯组内标准差变化曲线

图 1 中二维坐标系的横轴为倒溯组内标准差的序号数 i , 纵轴为对应的标准差 $S[i]$ 。在每一个单调递增的局部区间 $[L_j, n_j]$ (设共有 k 个单调递增区间) 内寻找增长突变点的过程如下:

a) 从 $i = L_1$ 开始, 在一个长为 L 的滑动窗体 (slide window) 内, 以首尾两点 (L_1 和 L_1+L) 对应的标准差 $S[L_1]$ 和 $S[L_1+L]$ 连

成一条直线 l_0 ;

b) 求取滑动窗体内包含的标准差曲线 $S[i]$ 上的 $L-2$ 个点与直线 l_0 的距离, 并比较获得其中的最大值 $d_{1\max}$;

c) 使窗体沿着 $S[i]$ 曲线在区间 $[L_1, n_1]$ 逐一滑动, 共可求得 $n_1 - L - L_1 + 1$ 个最大的距离值 $d_{1\max}$;

d) 比较获得的 $d_{1\max}$ 中的最大值并记为 $d_{1\max}$ 及 $S[i]$ 曲线上对应的点记为 $S[i_{\max}]$;

e) 对剩余 $k-1$ 个单调递增的局部区间重复迭代步骤 a) ~ d), 可得到 k 个最大距离值 $d_{j\max}, j \in [1, k]$ 。记这 k 个值的最大值为 $d_{\max}$, 并且记录其对应的倒溯组内标准差曲线上的点为 $S[i_{\max}]$ 。

那么, 点 $S[i_{\max}]$ 就是倒溯组内标准差曲线 $S[i]$ 上的真正的增长突变点, 即对应着 S 空间的灰度直方图中, 从灰度值 $(255 - qi_{\max})/255$ 开始, 对应的像素数开始激增, 此时, 背景像素开始大幅度出现, 那么以灰度值 $(255 - qi_{\max})/255$ 对图像进行分割, 可以将图像分为具有最大差异的两类。

若是图像的倒溯标准差曲线 $S[i]$ 具有多个局部单调递增区间, 那么可以找到每一个递增区间的生长突变点, 并据此对图像进行多灰度级分割, 这是以后的研究方向之一。

2 实验验证

本文利用普通照相机, 在不同的天气、光照情况下, 采集了 628 幅交通标志图像 (像素为 3000×4000 , 处理时缩小为 300×400), 共包含了 1 108 个交通标志牌, 其中包含了交通标志图像的遮挡、模糊、缺失、阴影、背景干扰、光照不均等多种情况, 并采用本文所述的算法对图像进行分割。实验中, 人为确定的参数有步长 q 以及窗体长度 L 。步长 q 越长, 处理时间越快, 但是精度就会降低; 步长 q 越短, 处理时间就相对延长, 但是精度就越高; 但是, 当 q 为 1 时, 其精度反而降低, 因为, 当 q 等于 1 时, 图像灰度直方图中点像素灰度的随机不确定性在此刻表现出来。因此, 在实验验证的基础上, 取步长 q 为 3, 处理时间和处理效果方面都有满意的效果。而关于窗体长度 L 的选择, 也主要考虑处理时间和处理精度问题。 L 越小, 则处理时间越短, 但是容易产生较大误差; L 越长, 则处理时间越长, 并且可能超过了局部单调递增区间长度。因此, 综合以上考虑, 取窗体长度 L 为 10。

同时, 为了检验本算法的有效性, 本文也采用了另外两种 HIS 空间下的常用交通标志图像分割方法对所采集的图像进行分割。

采用本算法对交通标志图像进行分割, 几乎每一幅交通标志图像上的交通标志都准确的被保留下来了, 并且保留了尽可能少的背景干扰像素, 正确率高达 98% (即仅有不到 2% 的交通标志被当做背景而被误割)。

图 2~6 给出了一些交通标志处理中比较典型的复杂图像以及利用本算法, 迭代阈值选取方法和 HIS 空间的色彩判断法对图像分割后的效果图。图 2~6 的子图中, 图(a)表示 jpeg 格式的彩色图像; 图(b)是图像 S 分量的灰度直方图, 其坐标横轴是灰度值, 坐标纵轴是灰度值对应的像素数; 图(c)是对应的倒溯组内标准差曲线 (q 为 3), 其坐标横轴是标准差序号数, 坐标纵轴是对应的组内标准差值; 图(d)是经本算

法分割之后的效果图; 图(e)是经 HIS 空间色彩判断法分割之后的效果图; 图(f)是经迭代阈值选取方法分割之后的效果图。

图 2 给出的是交通标志图像中有部分阴影的情况, 其 S 分量的灰度直方图具有明显的双峰性, 此时, 三种算法都能将交通标志保留, 但是色彩判断法和迭代阈值法保留了相当多的背景干扰像素; 图 3 给出的是图像全部处于阴影中的情况, 其 S 分量的灰度直方图表现为单峰性, 背景像素逐渐增长, 全局最大像素数出现的地方不在最低灰度值 0 及其右邻域附近, 利用本算法分割图像, 在保留交通标志的情况下, 只保留了少部分干扰像素, 而另外两种算法几乎没有任何分割效果, 保留了大量的背景像素, 交通标志几乎完全淹没; 图 4 和 5 分别给出了图像背景中存在一定颜色干扰和较大颜色干扰的情况, 二者 S 分量的灰度图特性相似, 均没有明显的双峰性, 背景像素逐渐增长, 全局最大像素数出现在最低灰度值 0 及其右邻域附近, 且在高灰度值区间内分布有一定的像素数, 此时, 本算法分割效果也较为理想, 而迭代阈值法对此几乎没有任何效果, 交通标志完全淹没在了背景中, 色彩判断法在背景中存在较大颜色干扰时也失去了分割作用; 图 6 给出了图像中光照不均匀情况, 其 S 分量的灰度图没有明显的双峰性, 背景像素逐渐增长, 全局最大像素数出现在最低灰度值 0 及其右邻域附近, 且高灰度值区间没有分布像素分布, 此时, 本算法也有很好的分割效果, 可以完整地将交通标志保留而滤去了绝大部分背景, 迭代阈值法对这种情况失去了分割作用, 交通标志与背景无法区分, 而色彩判断法分割效果也不理想, 保留了相当多的背景像素。因此, 本算法的分割效果优于迭代阈值法和色彩判断法, 是一种有效的交通标志图像分割算法。

实验表明, 本算法对一些极端情况, 处理效果仍不理想。因为是在背景开始大幅出现的时候对图像进行分割, 因此, 交通标志的灰度值与背景灰度值重叠较大时, 分割效果不太理想。图 7 给出了交通标志类与背景两类的重叠示意图。图 7(a)表示 m_1 和 m_2 重叠较少, 这种情况下, 分割效果很好。而图 7(b)表示 m_1 和 m_2 重叠较多, 此时, 若取背景灰度值大量出现的前一灰度值进行分割, 那么 m_1 就会被大部分分割掉, 甚至在 m_1 的灰度值与背景全部相融时, m_1 会全部被处理掉; 而若取背景灰度值大量出现时的灰度值对图像进行分割, 那么 m_1 会被保留下来, 但是也同时保留了大量的背景干扰; 最极端的情况是 m_1 的灰度值与其周围背景的灰度值相同时, 无论采用什么阈值, m_1 与背景总是共同存在或者共同消失, 无法与背景分割开, 这是目前任何阈值分割方法都无法解决的一个难题。对于由红色包围白色区域而组成的禁令标志, 由于红色区域较为狭小, 因此分割效果受背景的影响较大, 而蓝色和黄色交通标志几乎不受背景的影响。

在图像的 S 空间下运行本算法的时间复杂度为 $T(kLD)$ (k 为单调递增区间的个数, D 为单调递增区间的长度, L 为窗体长度), 在 Intel® Core™2 Duo CPU® 2.20 GHz, 4.00 GB RAM 的系统下, 采用 MATLAB 2009b 实现本算法, 在图像 S 空间下的平均处理时间不到 0.03 s, 而图像从 RGB 到 HIS 空间的转换是经硬件处理实现的, 可以满足无人车 (最高车速为 10 m/s) 的交通标志的实时处理要求。本文已经开始着手移植本算法到无人车。

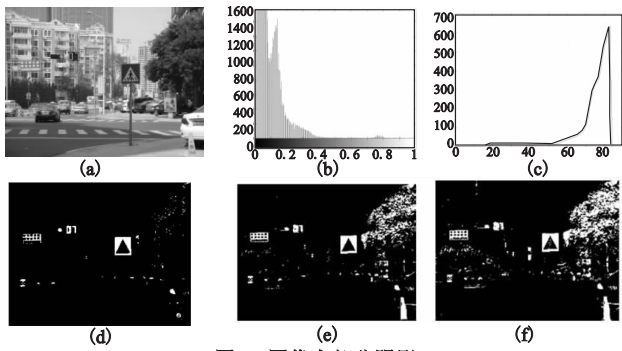


图2 图像有部分阴影

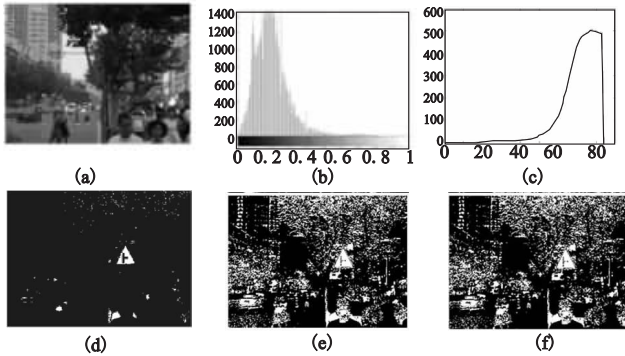


图3 图像全部处于阴影中

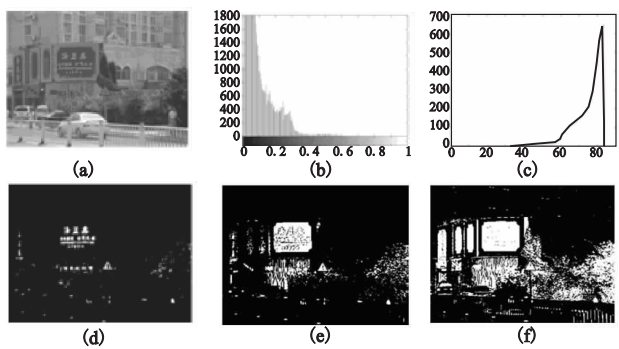


图4 背景有一定干扰

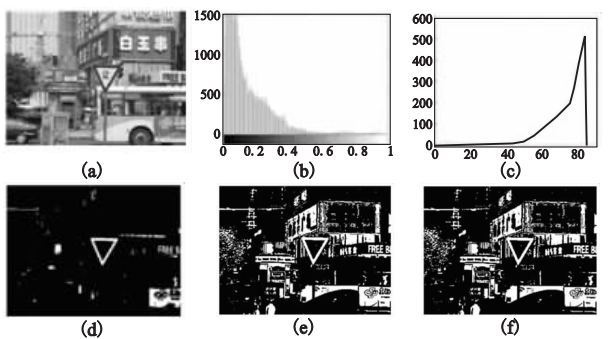


图5 背景有较大干扰

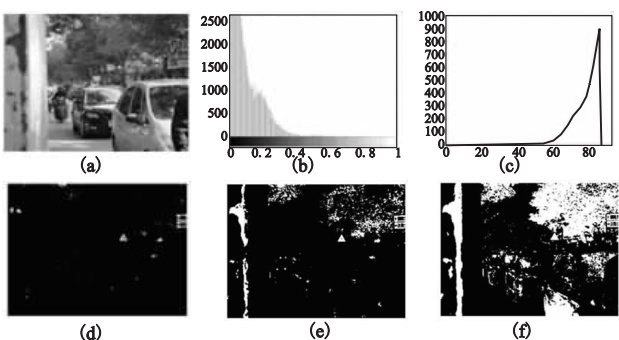
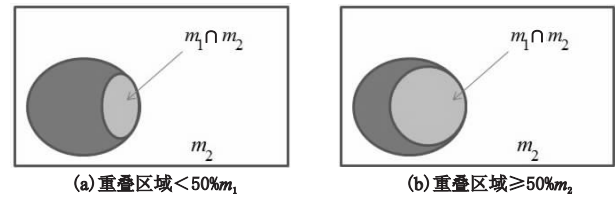


图6 图像中光照不均匀

图7 交通标志区域 m_1 与背景 m_2 的重叠示意图

3 结束语

本文基于图像S空间的灰度直方图信息,在考虑灰度直方图的点灰度信息与区域灰度信息基础之上,提出了一种有效的对交通标志图像进行分割的全局阈值选取方法。利用该方法选取的阈值对图像进行分割,具有很好的分割效果,而且也仅保留了少部分的背景干扰像素,极大地减少了图像处理的后续过程的处理时间,可满足无人车实时处理交通标志图像的要求。下一步的研究方向主要集中于将本算法与其他图像分割算法结合,对背景灰度值和交通标志灰度值相同的极端的图像进行分割处理;以及将本算法的思想推广到图像处理的其他应用方面而不是仅仅局限于交通标志图像的处理。

参考文献:

- [1] ZHANG Yu-dong, WU Le-nan. Segment-based coding of color images [J]. Science in China (Series F: Information Sciences), 2009, 52(9): 914-925.
- [2] ZHANG Kai-hua, ZHANG Lei, SONG Hui-hui, et al. Active contours with selective local or global segmentation: a new formulation and level set method [J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(4): 668-676.
- [3] VAVRIK J, BARTAK P, CERMAK R. Traffic signs detection in image data [J]. Advanced Engineering, 2010, 2(4): 233-240.
- [4] CHEN Long, LI Qing-quan, LI Ming, et al. Traffic sign detection and recognition for intelligent vehicle [C]//Proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2011: 908-913.
- [5] PENG Bo, ZHANG Lei, ZHANG D, et al. Image segmentation by iterated region merging with localized graph cuts [J]. Pattern Recognition, 2011, 44(10-11): 2527-2538.
- [6] NOBUYUKI O. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [7] XUE Jing-hao, TITTERINGTON D M. T-tests, F-tests and Otsu's methods for image thresholding [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2010, 20(8): 2392-2396.
- [8] STEGER C, ULRICH M, WIEDEMANN C. Machine vision algorithms and applications [M]. German: Wiley-VCH, 2008: 143-155.
- [9] JEDN J, MANMATHA R. Using maximum entropy for automatic image annotation [C]//Proc of the 3rd International Conference on Image and Video Retrieval. 2004: 24-32.
- [10] 王倩. 基于边界梯度控制的最大熵阈值分割方法 [J]. 计算机应用, 2011, 31(4): 1030-1032, 1120.
- [11] GUSTAFSSON F. Adaptive filtering and change detection [M]. New York: Wiley, 2000: 205-227.
- [12] WURTZEL O, DORI-BACHASH M, PIETROKOVSKI S, et al. Mutation detection with next-generation resequencing through a mediator genome [J]. PLoS ONE, 2010, 5(12): 1-7.