

文章编号: 0253-2239(2007)05-0835-6

简单有效的运动汽车投影阴影分割算法^{*}

刘直芳¹ 王运琼² 游志胜¹

(¹ 四川大学计算机学院图形图像研究所, 成都 610064
² 云南师范大学计算机科学与技术学院, 昆明 650092)

摘要: 在实时的车型识别系统中, 由于光照的影响, 需要一种简单快速有效的方法将汽车车体与其阴影分割开。利用阴影的光谱属性, 同时根据阴影的几何特征及阴影区域内的点和汽车的空间位置、形状等相关特点, 提出一种基于小波变换多分辨率特性的阴影分割算法, 该算法能有效地分割出阴影与目标之间的分界线。先利用阴影的光谱属性对阴影进行粗分割, 然后利用小波变换的多尺度性对候选阴影点进行特征提取, 从而获取最后的阴影分界线。该方法不需要事先确定光源的方向、车体的彩色信息和背景纹理信息, 能有效地分割任何颜色、任何背景纹理下、任何光源方向下的运动汽车投影阴影。实验表明, 该方法定位准确, 处理速度快, 抗噪能力强, 为进一步的车型识别提供基础。

关键词: 图像处理; 投影阴影; 阴影光谱特性; 遮挡函数; 小波变换; 阴影检测

中图分类号: TP391 文献标识码: A

A Simple and Effective Method to Segment Moving Vehicle Cast Shadow

Liu Zhifang¹ Wang Yunqiong² You Zhisheng¹

(¹ Institute of Image and Graphics, Sichuan University, Chengdu, 610064
² Faculty of Computer Science & Information Technology, Yunnan Normal College, Kunming 650092)

Abstract: In real-time vehicle type recognition, shadows interfere with moving vehicle extraction, location and recognition due to light. We propose a simple and effective method to segment moving vehicle cast shadow. The proposed method exploits spectral and geometrical properties of shadows and relationship between the point in shadow region and space position and shape of vehicle. Feature points of occluding function are detected using multi-resolution of wavelet transform and the boundary between self-shadow and cast shadow is detected. Firstly, the shadow can be coarsely segmented by the shadow spectral property, and then the feature points are extracted by multi-scale wavelet transform. The proposed method can effectively segment moving vehicle cast shadow. It needs not know in advance the information of the light direction, vehicle color and background texture. Our experimental results show that the proposed method is robust and effective in detecting shadows.

Key words: image processing; cast shadow; shadow spectral property; occluding function; wavelet transform; shadow detection

1 引 言

智能交通系统(ITS)中的车辆类型识别系统是现代城市交通管理和收费道路管理中不可缺少的强有力的工具^[1~3]。由于视频图像受光源的影响较大, 当光源在入射方向上受到不透明物体的遮挡时, 会产生阴影。在实时的车辆类型识别系统中, 快速、准确地

定位出运动车辆是车型识别系统中最关键的环节, 在实际应用中由于运动阴影与汽车粘连而被当作汽车的一部分, 将严重影响车体的准确定位, 进而影响到车辆的正确识别率。因此将汽车与它的阴影分离成为车辆识别系统中必须要解决的问题^[3~5]。

目前已有不少文献对阴影进行了研究^[3~13], 主

^{*} 国家科技部科技型中小企业技术创新基金(03C26225100257)和公安部重点技术创新计划项目(01XM013)资助课题。

作者简介: 刘直芳(1974—), 女, 四川达川人, 讲师, 博士研究生, 主要从事图像处理、模式识别、计算机视觉、智能交通和生物识别等方面的研究。E-mail: liuzhifang7563@163.com

导师简介: 游志胜(1945—), 男, 四川成都人, 教授, 博士生导师, 主要从事图像处理、模式识别、计算机视觉、智能交通、人工智能、雷达模拟机等方面的研究。E-mail: zsyoun@mail.sc.cninfo.net

收稿日期: 2006-05-26; 收到修改稿日期: 2006-10-25

要分为两类检测方法,一是基于阴影模型^[3~7],一是基于阴影属性的方法^[8~13]。基于模型的方法主要依赖于先验的几何模型,如目标的三维形状和光照模型,因此阴影的形状和位置就可以通过模型精确地计算出,但这种方法很难满足实时的车辆识别系统的需求。基于阴影属性的方法主要是利用阴影与目标颜色的差异来分割阴影^[8~10],当目标与阴影颜色差异较大时,这类方法是可行的。但当目标与阴影颜色接近时,这类方法就显得无能为力了。本文在利用阴影的光谱属性的基础上,根据阴影的几何特征以及阴影区域内的点和汽车的空间位置、形状等相关的特点,提出一种简单有效的运动汽车投影阴影分割方法。该方法中,我们考虑在阴影区域,环境光是最主要的光源,利用近距离的汽车对环境光的遮挡,使得在紧邻汽车阴影区域的背景表面,所接收的环境光不再是恒定不变的常量,而是有规律变化的特点,同时根据小波变换多分辨率特性检测出阴影生成线的特征点,从而将阴影有效地与运动目标相分割。该方法不仅适用于目标与阴影颜色差异较大的情况,而且当两者颜色相近时也可取得满意的效果,而且对背景纹理没有限制,也不需要事先确定光源方向等。

2 阴影的光谱属性及特征属性

阴影是物体表面未被光源直接照射形成的暗区域,阴影分为自身阴影和投射阴影^[9],如图 1 所示。如果将一幅二维图像划分为四个互不相交的区域,即投射阴影区域 ω^c 、自身阴影区域 ω^s 、有光源照射的目标区域 ω^o 和背景区域 ω^b 。由于自身阴影是目标物体的一部分,需要提取投射阴影与自身阴影之间的分界线 L_{CD} ,如图 1 所示的白色粗线,将目标物体与投射阴影分离。

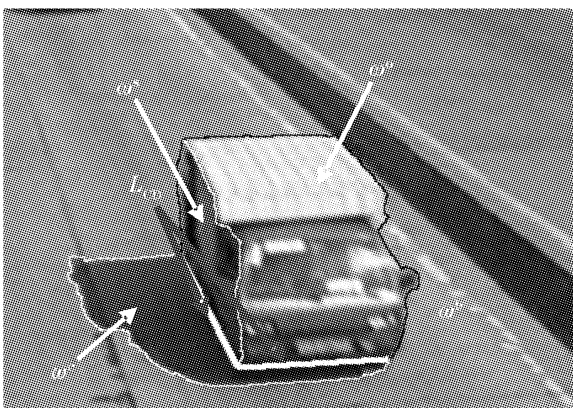


图 1 阴影区域划分示意图
Fig. 1 Shadow area division

假设 $S_R(\lambda), S_G(\lambda), S_B(\lambda)$ 分别为彩色相机的红、绿和蓝的光敏感函数。因此在 2 维图像平面上点 (x, y) 到传感器的彩色成分的反射亮度函数为

$$C_i(x, y) = \int_{\Lambda} E(\lambda, x, y) S_{C_i}(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

其中 $C_i \in \{R, G, B\}$ 为传感器响应, $E(\lambda, x, y)$ 为点 (x, y) 处的图像辐照度, 而

$$S_{C_i}(\lambda) \in \{S_R(\lambda), S_G(\lambda), S_B(\lambda)\}.$$

因为图像辐照度与场景的辐射率相对应,用沿光线方向的点 p 表示像素点 (x, y) , 则传感器函数可以表示为

$$C_i(x, y)_{lit} = \int_{\Lambda} \alpha [L_a(\lambda) + L_b(\lambda, p) + L_s(\lambda, p)] S_{C_i}(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

其中 $L_a(\lambda), L_b(\lambda, p), L_s(\lambda, p)$ 分别为环境反射、体反射和表面反射函数, α 是反射率和辐照度之间的比例因子。则有彩色矢量 $\mathbf{C}(x, y)_{lit} = (R_{lit}, G_{lit}, B_{lit})$ 。

如果一个点在阴影区域,则可表示为

$$C_i(x, y)_{shadow} = \int_{\Lambda} \alpha L_a(\lambda) S_{C_i}(\lambda) d\lambda, \quad (3)$$

则彩色矢量 $\mathbf{C}(x, y)_{shadow} = (R_{shadow}, G_{shadow}, B_{shadow})$ 。

根据阴影形成原因,从亮度区域到阴影区域,其彩色矢量中的成分将逐渐降低,即有

$$R_{shadow} < R_{lit}, \quad G_{shadow} < G_{lit}, \quad B_{shadow} < B_{lit}, \quad (4)$$

这就是阴影的光谱属性。

另外一方面,尽管阴影的几何外观依赖于目标和场景的布置,但没有任何有关目标或场景的先验知识结构,也可以识别阴影的一些几何特性,即阴影边界。一般情况下,将阴影边界分为四类:阴影生成线、阴影线、遮挡线和隐藏阴影线^[13],如图 2 所示。

阴影生成线 AB 是目标光照表面和非光照表面

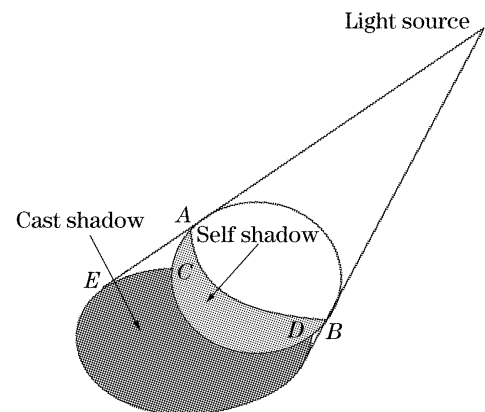


图 2 几种不同的阴影线
Fig. 2 Shadow line define

的界定线。如果观测者的位置平行于光源方向,则阴影生成线将是目标的轮廓线。阴影线 DE 是阴影生成线沿光线方向的投影。遮挡线 CD 是目标与投影阴影之间的分界线。隐藏阴影线 CE 是阴影线中不可见的阴影生成线的部分。

3 投影阴影分割算法

根据前面所描述的阴影光谱属性以及几何属性,下面讨论具体的阴影分割方法。

3.1 利用阴影光谱进行阴影预分割

根据阴影形成及其光谱属性,则有阴影区域内的像素点比它们投影面区域内的像素点更暗。即如果将测试图像与参考图像之间进行比较,有

$$\begin{aligned} & [R_r(x, y) > R(x, y)] \wedge \\ & [G_r(x, y) > G(x, y)] \wedge \\ & [B_r(x, y) > B(x, y)], \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $R_r(x, y)$ 、 $G_r(x, y)$ 和 $B_r(x, y)$ 分别为参考图像中的色彩值。如果测试图像中的点 (x, y) 满足(5)式,则将点作为候选阴影点。

在车型识别系统中,由于捕获的是一序列图像,因此将背景图像作为参考图像,即参考像素点 (x_r, y_r) 属于背景图像。背景图像是通过文献[15]中背景实时生成的算法来获得的^[14,15]。

为了能提高算法的速度,不直接利用(5)式来获得候选阴影点,而是在差分处理后的运动目标区域中进行,即在已经检测出的运动目标和投影阴影区域中,

$$\begin{cases} D(x, y) & \text{if } I(x, y) - I_b(x, y) > I_{\text{thresh}}, \\ 0, & \end{cases} \quad (6)$$

其中 $I_b(x, y)$ 为背景图像, $I(x, y)$ 为当前帧图像, $D(x, y)$ 为运动差分二值化图像。

由于外界噪声等因素的影响,我们通过区域的累计差分来确定候选阴影点,即

$$D_w(x, y) = \frac{1}{(2M+1)(2N+1)} \sum_{i=-N_j}^{+N} \sum_{j=-M}^{+M} D(x+i, y+j), \quad (7)$$

其中 M 和 N 分别为窗口的大小,在实验中,选取 $M = N = 5$ 进行处理。

然后通过下面公式判断(7)式中的点 (x, y) 是否属于候选阴影点,有

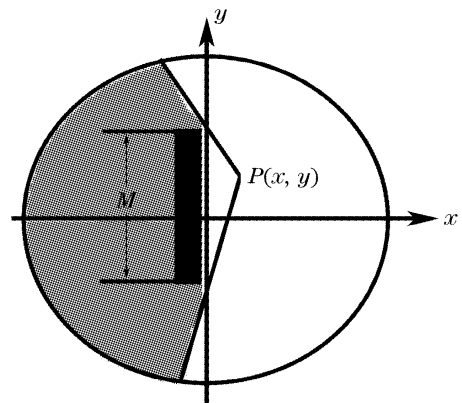
$$\begin{aligned} & [D_w(x, y)^R > b_1] \wedge \\ & [D_w(x, y)^G > b_2] \wedge [D_w(x, y)^B > b_3], \end{aligned} \quad (8)$$

$$b_i = \alpha \times \max\{D_w(x, y)^R, D_w(x, y)^G, D_w(x, y)^B\},$$

其中 $b_i (i = 1, 2, 3)$ 为阈值, α 是系数,在本文的实验中, α 取 0.1。上面检测出的候选阴影点,既包含投影阴影点,也包含自身阴影点在内。由于自身阴影属于目标的一部分,因此将通过进一步分析来寻找两种阴影之间的遮挡线 L_{CD} 。

3.2 遮挡函数及其性质

如果当点 (x, y) 周围没有遮挡物体时,假设环境光的值为常量是可以接受的,但当点 (x, y) 周围有近距离的遮挡物体时,这一假设不再成立,环境光的值与遮挡物体的空间位置密切相关。事实上,环境泛光可看作是漫反射光的逆过程,它们从各个方向均匀入射到景物表面上,因而可以认为它来自一个巨大的半球面光源,如图 3 所示。在当前帧,考虑到近距离的汽车对附近的背景表面以及车体其它部位的遮挡,影响了这些表面接受来自周围环境的泛光,因此在环境光项加入遮挡系数 $F(x, y)$,它定义为半球面上未被附近物体遮挡的部分光强在整个半球面中所占的比例。



环境光与物体的遮挡关系平面图

Fig. 3 The occluding plane between ambient light and object

如图 3 的阴影区域为被遮挡的环境光部分在 xoy 平面的投影。假设遮挡物体为宽度可以忽略不计的理想长方体,球半径 R ,遮挡物体的长度为 M ,高度为 H ,在 xoy 投影平面上,以长方体在 xoy 平面上的投影的中心为坐标原点,以长方形的长边为 y 轴,图中的浅灰色区域为被长方物体遮挡的半球体在 xoy 平面的投影。

1) 半球面的面积 $A(R) = 2\pi R^2$ 。

2) 被长方体遮挡的部分的表面积 $A_1(x, y)$ (极坐标形式表示):

$$A_1(x, y) = \int_{-\arctan[M-y/x]}^{\arctan(y/x)} d\theta \int_{-xR/\sqrt{x^2+H^2\cos^2\theta}}^R \frac{r}{\sqrt{R^2-r^2}} dr, \quad (9)$$

于是遮挡函数 $F(x, y)$ 表示为

$$F(x, y) = 1 - A_1(x, y)/A(R) = 1 - \left[\arcsin \frac{(M-y)H}{\sqrt{x^2 + (M-y)^2} \sqrt{x^2 + H^2}} + \arcsin \frac{yH}{\sqrt{x^2 + y^2} \sqrt{x^2 + H^2}} \right] / (2\pi), \quad (10)$$

$F(x, y)$ 函数具有下列特征:

1) $F(x, y)$ 是关于 x 和 y 对称的函数;

2) 令 x 为常量, $F(x, y)$ 在当 $y = 0$ 时取得最小值, 且 $y \in (0, R)$ 时, 函数 $F(x, y)$ 单调递增;

3) 两垂直线上点的特征: 设 L_1 为由直线方程 $y = kx + b (k \neq 0)$ 生成的线段, L_2 垂直于 L_1 , 两直线的交点在 y 轴上, 那么 L_1 和 L_2 两条直线中至少有一条直线满足: 在该直线上的任意两点 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 当 $x_1 > x_2$ 时, $F(x_1, y_1) > F(x_2, y_2)$ 。

虽然 $F(x, y)$ 是基于理想的长方体而得到的, 现实中的汽车几乎不可能是长方体, 在形状上有一定的差异。但只要汽车的形状不是特别的奇异, 在汽车的投射阴影区域内的遮挡函数即可以用理想长方体模型的 $F(x, y)$ 代替。

3.3 小波分解确定阴影遮挡线

在图像的小波变换域, 小波系数的幅值代表了原始图像在该分辨率下灰度变化的剧烈程度。由于车窗、车胎等材质不同, 车身各点的表面方向不同, 导致在目标区域和自身阴影区域内相邻像素之间的变化较大。经过小波变换后, 在相同的尺度下, 这两个区域内的像素点具有较大的小波系数值, 而在投射阴影区域内的像素点则具有较小的小波系数值。

在不同的尺度下, $F(x, y)$ 的小波分解系数除了具有前面所说的三个特征外, 还具有下列特征:

1) 两条平行线上点的统计特征

设 L_i 为 $x = i$ 的平行线, 直线上点的个数为 N , 令 $\overline{F(i)} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in L_i} F(x, y)$ 为直线 L_i 上所有点对应的平均值, 根据前面 $F(x, y)$ 的特征 2)、3) 得

$$\overline{F(x_1)} > \overline{F(x_2)}. \text{ 当 } x_1 > x_2 > 0 \quad (11)$$

2) 平行线上不同步长相邻点的统计特征

设 L_i 为 $x = i$ 的平行线, $D(i, y, m) = |F(i, y) - F(i, y + m)|$ 为 L_i 上距离为 m 的两点 (i, y) 和 $(i, y + m)$ 的函数差值的绝对值, 令 $\overline{D(i, m)} = \frac{1}{N_m} \sum_{(i,y) \in L_i} D(i, y, m)$, N_m 为 L_i 上距离为 m 的点对的个数; 根据 $F(x, y)$ 的特征 2)、3) 得

$$\overline{D(i, m_1)} > \overline{D(i, m_2)}. \text{ 当 } m_1 > m_2 > 0 \quad (12)$$

在 ω^c 内的相邻点, $\overline{D(x, m)}$ 可近似看作原始图像进行了 $\lg m + 1$ 次小波分解后的小波系数。在 ω^c 内的点经过小波变换后, 具有较小的小波系数值。

选择一维哈尔(Haar)小波对 $F(x, y)$ 中直线 $x = i$ 上的点进行小波分解, 根据 Mallat 小波分解算法, 可知

$$\begin{cases} c_{j,k} = \frac{1}{\sqrt{2}}(c_{j-1,2k} + c_{j-1,2k+1}), \\ d_{j,k} = \frac{1}{\sqrt{2}}(c_{j-1,2k} - c_{j-1,2k+1}), \end{cases} \quad (13)$$

令 $k = 0$, 根据(13)式及 $c_{0,k}^x = F(x, k)$, 有

$$\begin{aligned} d_{j,0}^x &= 2^{-j/2} [F(x, 0) + \dots + F(x, 2^{j-1} - 1) - F(x, 2^{j-1}) - \dots - F(x, 2^j - 1)], \\ \frac{d_{j,0}^x}{d_{j-1,0}^x} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{F(x, 0) + \dots + F(x, 2^{j-1} - 1) - F(x, 2^{j-1}) - \dots - F(x, 2^j - 1)}{F(x, 0) + \dots + F(x, 2^{j-2} - 1) - F(x, 2^{j-2}) - \dots - F(x, 2^{j-1} - 1)} \end{aligned} \quad (14)$$

根据(12)式, 则有

$$d_{j,k}^x > d_{j-1,k}^x, \quad (15)$$

\bar{c}_j^i 代表直线 $x = i$ 上第 j 次小波分解后的平均尺度系数, 即

$$\bar{c}_j^i = \frac{1}{N_{ijk}} \sum_k c_{j,k}^i, \quad (16)$$

根据(11)式和(13)式, 有

$$\bar{c}_{j_1}^i < \bar{c}_{j_2}^i, \quad 0 < x_1 < x_2 \quad (17)$$

\bar{d}_j^i 代表直线 $x = i$ 上第 j 次小波分解后的平均小波系数, 即

$$\bar{d}_j^i = \frac{1}{N_{ijk}} \sum_k d_{j,k}^i, \quad (18)$$

根据(15)式, 有

$$\bar{d}_{j_1}^i < \bar{d}_{j_2}^i, \quad 0 < x_1 < x_2 \quad (19)$$

(15)式~(19)式表明, 直线 $x = i$ 上点的函数值 $F(x, y)$ 经过多次小波变换后, 其小波系数值会逐渐增大, 而在同一尺度上, 离 y 轴越远, 线段对应的平均尺度系数和平均小波系数越大。

3.4 运动汽车阴影分割步骤

根据遮挡函数 $F(x, y)$ 的小波特性, 以及利用

光谱特性候选出的阴影点,用多尺度小波函数求阴影分割线的步骤为:

1) 根据汽车运动方向确定阴影分界线的斜率:阴影线方向的确定基于以下几个假设:① 相机静止不动;② 汽车在运动过程中不发生形变;③ 汽车作直线运动;④ 背景平坦.条件①使序列图像相邻两帧之间运动目标的位移为运动目标的真实位移在二维像平面上的投影;条件②使汽车在整个运动过程中的质心不变.通过计算相邻两帧候选阴影区域的质心,获得位移矢量方向.汽车的侧阴影分割线 L_{CD} 的斜率与位移矢量方向相同,而另一条分割线(前后阴影),应与侧阴影分割线垂直.

2) 将候选阴影区分解为与阴影分割线 L_{CD} 平行的线段簇,这些线段簇与车辆运动方向一致.

3) 对每条线段上的 $F(x, y)$, 利用哈尔小波进行多尺度分解.

4) 计算小波分解后的平均尺度系数和平均小波系数.

5) 不同尺度下,利用(15)式~(19)式,在候选阴影区域中检测满足上述条件的点,然后利用最小二乘拟合出阴影侧分割线 L_{CD} .

图4是图1经过阴影预分割后的候选阴影点在平行于汽车运动方向直线上的点进行3次小波分解后的值,图4(a)是尺度系数,图4(b)是小波系数,其中 $i=1$ 代表一次分解后的系数, $i=2$ 代表二次分解后的系数, $i=3$ 代表三次分解后的系数.

由于小波变换可以在不同的分辨率上进行,因而可以根据投射阴影在不同分辨率下的特征进行综合分析,精确定位 L_{CD} 线的位置.图4中的竖线是用本文方法得到的图1在运动方向上的 L_{CD} 线的位置.

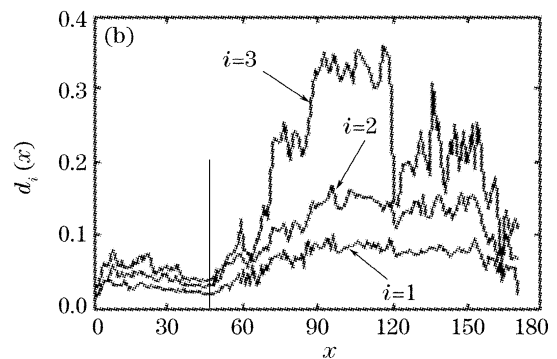
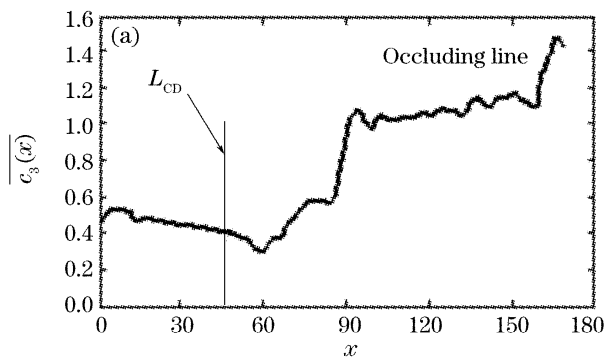


图4 图1在平行于运动方向直线上的阴影上的小波分解系数

Fig. 4 The wavelet coefficient of the shadow in the Fig. 1 in parallel with the running direction

4 实验结果分析

实验图片是用 CCD 摄像机实拍的在公路上行驶中的汽车,选用的图像具有普遍的代表性.从颜色上考虑,有与阴影颜色差异很大的车,有颜色相似的灰色车;车型上有与理想模型较近似的面包车,有差别相对较大的轿车和货车;阴影方向上有前向阴影、侧向阴影和斜阴影;背景的选取上有较单一的背

景和有黄色线条纹理的背景.分别利用文献[6]的方法和本文的方法进行分割.图5是两种方法分割汽车阴影的结果对比,其中第一行图像是利用文献[6]方法分割的结果,第二行图像是利用本文提出的方法分割的结果.

从实验结果可以看出,由于本文的方法既考虑阴影的光谱属性,又考虑阴影的几何特性及汽车空

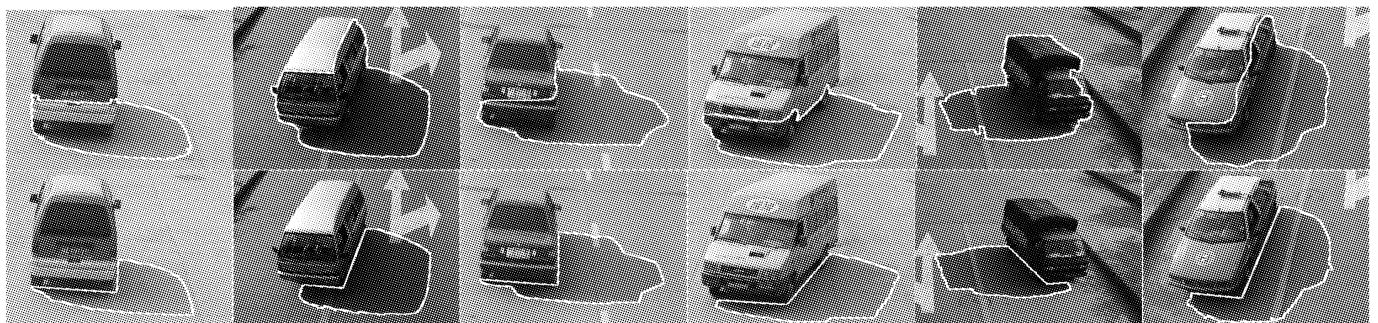


图5 基于小波变换的运动汽车阴影分割结果

Fig. 5 Shadow segmentation results by this proposed method

间位置和形状等信息,因此能更有效、更准确地检测出阴影分界线。

5 结 论

阴影区域的方位是根据阴影区域内像素点之间的特征来确定的,因此并不需要事先知道光源的方向。在整个分析过程中,处理阴影分割预处理阶段涉及到彩色信息外,基本上不使用彩色信息,因此对汽车的颜色就没有限制,可以是与背景相差较大的颜色,也可以是与背景相近似的颜色。另外,阴影分割预处理阶段是在差分运动目标检测基础上进行的,而对背景的纹理没有限制,因此本方法也适用于背景纹理复杂的场合。同时,在特征提取时没有直接使用二维小波进行分解,而是将二维的图像投影到多个一维的子空间来处理。一方面由于使用了直线上像素的统计特性,增强了特征的抗噪能力,提高了稳定性;另一方面,简化了计算复杂度,大大减少了运算量,从而提高了处理速度。实验图片的分辨率为 384×288 ,运行在主频为 2.0 GHz 的奔腾 IV 计算机上,输入当前帧图像和背景图像,输出分割结果图像,测得整个过程用时 0.12 s,可以满足实时处理的需求。

本文所采用的实验序列都是直线运动的汽车,而对于在弯道行驶的运动汽车,只有通过其他方法来获得阴影分割线的方向,这将在以后的工作中继续进行研究。

参 考 文 献

- 1 Benjamin Coifman, David Beymer, Philip McLauchlan *et al.*. A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1998, **6**(8): 271~288
- 2 Cao Jiannong, Li Deren, Guan Zequn. Study on approach of detection for video image based on decomposable Markov network[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(3): 312~318 (in Chinese)
曹建农,李德仁,关泽群. 基于可分解马尔科夫网的视频图像检

- 测方法研究[J]. *光学学报*, 2005, **25**(3): 312~318
- 3 R. Cucchiara, M. Piccardi, A. Prati. Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(10): 1337~1342
- 4 A. Prati, I. Mikic, M. M. Trivedi *et al.*. Detecting moving shadows: algorithms and evaluation [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(7): 918~923
- 5 Dong Xu, Xuelong Li, Zhengkai Liu *et al.*. Cast shadow detection in video segmentation[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2005, **26**(1): 91~99
- 6 Xu Dong, Xia Liangzheng, Yang Shizhou. Using curved surface approximation to reconstruct 3-D shape from shading[J]. *Acta optica Sinica*, 2002, **22**(5): 552~555 (in Chinese)
许东,夏良正,杨世周. 利用曲线逼近进行三维形状恢复[J]. *光学学报*, 2002, **22**(5): 552~555
- 7 D. Koller, K. Danilidis, H. H. Nagel. Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes[J]. *Int. J. Computer Vision*, 1993, **10**(3): 257~281
- 8 J. Stauder, R. Mech, J. Ostermann. Detection of moving cast shadows for object segmentation [J]. *IEEE Trans on Multi-Media*, 1999, **1**(1): 65~76
- 9 Yang Wang, Tele Tan, Kia-Fock Loe *et al.*. A probabilistic approach for foreground and shadow segmentation in monocular image sequences [J]. *Pattern Recognition*, 2005, **38**(11): 1937~1946
- 10 Martin D. Levine, Jisnu Bhattacharyya. Removing shadows[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2005, **26**(2): 251~265
- 11 R. Cucchiara, C. Grana, M. Piccardi *et al.*. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information[C]. Oakland (CA), USA, IEEE Proc. ITSC '01, 2001. 334~339
- 12 Jun-Wei Hsieh, Wen-Fong Hu, Chia-Jung Chang *et al.*. Shadow elimination for effective moving object detection by Gaussian shadow modeling [J]. *Image and Vision Computing*, 2003, **21**(6): 505~516
- 13 E. Salvador, A. Cavallaro, T. Ebrahimi. Cast shadow segmentation using invariant color features[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2004, **95**(3): 238~259
- 14 Liu Guixi, Shao Mingli, Liu Xianhong *et al.*. Video moving object auto-extraction in real scene [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(8): 1150~1155 (in Chinese)
刘贵喜,邵明礼,刘先红等. 真实场景下视频运动目标自动提取方法[J]. *光学学报*, 2006, **26**(8): 1150~1155
- 15 Zhang Jiping, Liu Zhifang. Background estimation and moving target detection [J]. *Computing Technology and Automation*, 2004, **23**(4): 51~54 (in Chinese)
张继平,刘直芳. 背景估计与运动目标检测跟踪[J]. *计算技术与自动化*, 2004, **23**(4): 51~54