

# 基于背景重构和阴影消除的运动目标分割

路红<sup>1,2)</sup> 费树岷<sup>1)</sup> 郑建勇<sup>3)</sup> 张涛<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (东南大学自动化学院 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室, 南京 210096)

<sup>2)</sup> (南京工程学院自动化学院, 南京 211167) <sup>3)</sup> (东南大学电气工程学院, 南京 210096)

**摘要** 背景差分法是一种重要的运动目标分割方法,但是其不仅对背景质量的要求较高,且易将运动阴影误检测为前景目标。针对上述问题,提出了一种用于智能交通系统的新的运动目标分割方法。该方法首先在RGB空间对像素灰度归类法进行了改进,并用其提取了背景图像,同时结合选择更新和背景调整来实时更新背景;然后对背景差分图像的RGB灰度之和,通过设定阈值来提取运动区域;最后对提取的目标阴影混合区在HSV空间,分别进行自上向下、自左向右及其反方向的色调、亮度及边界交叉点判别,以实现阴影检测和消除。实验结果表明,该方法能获得高质量的重构背景,并能消除阴影(尤其是暗色目标的阴影),因此可提高目标的分割质量。

**关键词** 灰度归类 背景重构 目标分割 边界交叉点 阴影消除

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)10-2023-06

## Moving Object Segmentation Based on Background Reconstruction and Shadow Elimination

LU Hong<sup>1,2)</sup>, FEI Shu-min<sup>1)</sup>, ZHENG Jian-yong<sup>3)</sup>, ZHANG Tao<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (School of Automation, Southeast University, Key Laboratory of Measurement and Control of Complex Systems of Engineering, Ministry of Education, Nanjing 210096) <sup>2)</sup> (School of Automation, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167)

<sup>3)</sup> (School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096)

**Abstract** The background difference is important for segmenting mobile objects. But this method highly depends on background quality and easily regards moving shadows as objects. To cope with these problems, a novel segmentation method is proposed for intelligent transportation system. Firstly, the background image is extracted in the RGB space by improving pixel grayscale classification, and is updated real time with selective update and background adjustment. Then, the motion regions are detected by summarizing and thresholding the RGB values in the difference image. Finally, the hue, value and border intersection, which are judged from top to bottom, from left to the right and inverse directions in detected regions, are utilized to detect and eliminate shadows in the HSV space. The experimental results show that this new method can effectively reconstruct background, eliminate shadow (especially dark object shadow) and improve segmentation quality.

**Keywords** pixel grayscale classification, background reconstruction, object segmentation, border intersection, shadow elimination

## 1 引言

背景差分法是一种重要的运动目标分割方法,

它是通过当前帧减去背景参考帧先得到差值图像,然后将所得到的差值图像二值化即可得到运动目标,它一般能够提供最完整的特征数据,且运算量低,可以做到实时检测与分割。但对于动态场景的

基金项目:国家自然科学基金项目(60574006,60804017);江苏省“六大人才高峰”基金项目(SJL-2002-05)

收稿日期:2005-05-08;改回日期:2008-09-01

作者简介:路红(1973~),女,2009年于东南大学获控制理论与控制工程专业博士学位。现为南京工程学院讲师,主要研究领域为计算机视觉,运动目标跟踪。发表论文20余篇。E-mail:luhong\_8888@yahoo.com.cn

变化较敏感,需要提供可靠的背景,并能及时进行更新,以适应环境的渐变和突变。近年来,人们对背景图像的重构及自适应更新进行了大量研究。根据背景重构的原理可将其分为:(1)建立背景数学模型,并通过调整模型参数来进行背景更新<sup>[1-3]</sup>。但该类方法建立的模型很难充分表示实际的背景图像,且易造成运动目标前景和背景图像的混合;(2)基于像素灰度选择的背景重构和更新<sup>[4-6]</sup>。该类方法不需要对背景和运动目标建立模型,而是直接从含有运动目标前景的图像序列中重构背景,从而避免了混合。

背景差分法分割的结果包括目标、阴影及少量噪声,阴影的存在将会扭曲目标的真实形状和扩大目标区域,使后续的跟踪过程耗时增加,甚至会导致跟踪失败。在智能交通监控场景中,由于阴影违章,如:阴影压线、阴影将前后不同的车辆相连而造成追尾假像等都会引起抓拍图片垃圾率上升,从而极大地影响交通监控系统的性能。目前已有不少的文献对阴影问题进行了研究,主要可以分为基于模型的和基于阴影特征的两种。其中基于模型的方法<sup>[7-8]</sup>是先假设目标的 3 维形状和光源已知,然后通过模型计算阴影的形状和位置;基于阴影特征的方法是利用阴影区域的几何<sup>[9]</sup>、颜色和亮度特征<sup>[10-11]</sup>来检测阴影,其具有更广泛的适用性。

本文采用第 2 类背景重构法,并基于灰度变化累加判断思想对文献[6]的像素灰度归类法进行了改进。针对阴影特征法在 HSV 空间易误判暗色目标与阴影的问题,通过 4 个方向(上、下、左和右)色调、亮度、边界交叉点判断实现了阴影区的检测和消除。实验证明,本文提出的方法是有效的。

## 2 运动目标分割方法

### 2.1 分割算法

整个分割算法流程如图 1 所示,即首先通过对视频帧序列进行采样来提取初始彩色背景,并根据实际的视频场景变化确定背景的更新方式,以实现背景的自适应更新;然后对当前帧和背景的差值图像在各像素点处的 R、G 和 B 分量的灰度和,通过设置阈值来实现运动检测,再经后处理 1(边缘校正等)来得到有效运动目标阴影混合区;最后对此混合区进行阴影检测和消除,再经后处理 2(形态学滤波等)即可得到有效的运动目标。

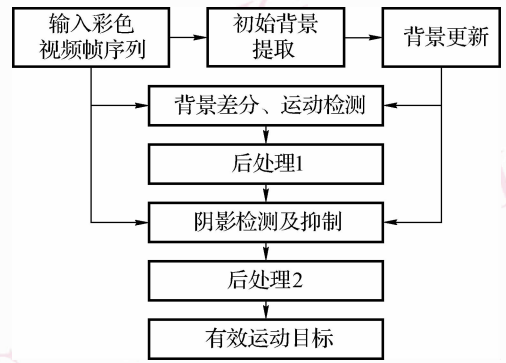


图 1 分割算法流程图

Fig. 1 Flowchart of segmentation algorithm

### 2.2 背景重构及更新

#### 2.2.1 背景重构

(1) 基于像素灰度归类的背景重构<sup>[6]</sup>

基于像素灰度归类的背景重构算法就是按照“背景在图像序列中总是最经常被观测到”<sup>[12]</sup>的假设,对过去的一组包含前景运动目标的图像序列,先按一定的规律对灰度值进行统计分类,并计算各灰度类的平均值;然后对平均值之差满足一定阈值条件的相似灰度类进行加权合并,并将判断出的整组序列中出现频率最高的灰度值作为对应的背景像素点的灰度值。

本文将这种思想引入到彩色背景的重构中,相似灰度类的加权合并按式(1)计算,最后将重构的 R、G 和 B 分量背景图像合成为彩色背景图像。设  $g(x, y, k, t)$  为第  $t$  帧图像在像素点  $(x, y)$  处的灰度值,其中  $k$  为 R、G 或 B。若第  $p$  个灰度类的平均灰度值为  $\bar{g}_p$ ,第  $h$  个灰度类的平均灰度值为  $\bar{g}_h$ ,它们合并后构成第  $s$  个灰度类,则第  $s$  个灰度类的平均灰度值  $\bar{g}_s(x, y, k)$  为

$$\bar{g}_s(x, y, k) = \frac{\bar{g}_p(x, y, k) \times n_p + \bar{g}_h(x, y, k) \times n_h}{n_s} \quad (1)$$

其中,  $n_p$  和  $n_h$  为第  $p$  个灰度类和第  $h$  个灰度类包含的像素数,合并后的总像素数为  $n_s$ ,即  $n_s = n_p + n_h$ 。

图 2 给出了一个像素点在连续 100 帧彩色序列图像中对应于 R(实线)、G(虚线)和 B(笔划线)3 个分量的灰度变化曲线,其中第 1~10 帧(共 10 帧)为第 1 个运动目标的灰度,第 11~67 帧(共 57 帧)为背景灰度,第 68~80 帧(共 13 帧)为第 2 个运动目标的灰度,第 81~100 帧(共 20 帧)为背景灰度。

像素灰度归类的目的是为了将第 11~67 帧背景灰度和第 81~100 帧背景灰度归为一类,即合并为同一个灰度稳定区,其对应的灰度平均值即为该像素点处的背景灰度。采用上述假设,背景总共在 77 帧中出现,背景灰度出现的频率最高,因此可以得到正确的背景灰度。

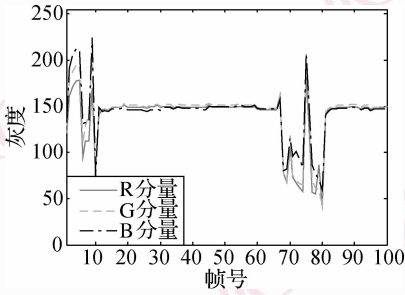


图 2 1 个像素点的 R,G,B 分量的灰度变化曲线

Fig. 2 Grayscale history plot of a pixel

## (2) 存在的问题

实验中发现,当某个像素点处的灰度值随时间的变化呈递减或递增趋势,且相邻帧间的该像素点的灰度变化小于设定阈值时,则背景像素点的灰度归类将出现错误。

图 3 为连续 36 帧序列图像某像素点处与 R,G,B 3 个分量对应的灰度变化曲线,即从第 4 帧到第 18 帧,该点的灰度值呈递减趋势,且相邻帧间的灰度变化跳跃性不大,完全满足文献[6]划分像素点灰度平稳区间的阈值条件,因此 1~19 帧被划分为同一个灰度平稳区。该平稳区中最大的灰度值为 165,而最小的灰度值为 68,二者的差值达到 97,由于这个差值已达到划分平稳区的阈值 25 的 3.9 倍,因此利用文献[6]算法得到的该点背景灰度值是不准确的。

## (3) 像素灰度归类改进算法

对像素归类算法进行改进的目的是为了将图 3

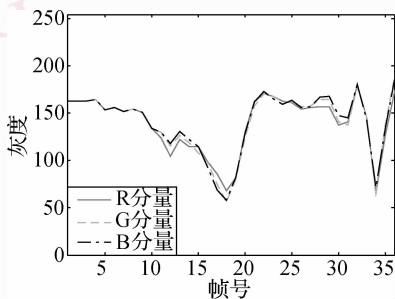


图 3 1 个像素点的 R,G,B 分量的灰度变化曲线

Fig. 3 Degressive grayscale history plot of a pixel

中的 1~19 帧划分为不同的灰度平稳区,以便使明显不属于同一平稳区的灰度值分开。以 R 分量的背景重构为例,初始类编号置为 1,改进后的类划分算法步骤如下:

### ① 考察相邻帧间的灰度变化

$$\Delta g(x, y, R) = g(x, y, R, t+1) - g(x, y, R, t)$$

若  $|\Delta g(x, y, R)|$  大于阈值  $T_1$ ,则类编号加一,并清空累加和,转步骤④;否则转步骤②。

② 考察本帧变化值与上一帧的灰度变化累加和是否同号,若为否,则赋予与前帧相同的类编号,并用本帧灰度变化值替换上一帧的灰度变化累加和,转步骤④;否则转步骤③。

③ 将本帧的灰度变化值与上一帧的灰度变化累加值求和,若该和值小于阈值  $T_2$ ,则赋予与前帧相同的类编号,并用本帧的灰度变化值替换上一帧的灰度变化累加和,转步骤④;否则类编号加一,并清空累加和,转步骤④。

④ 若全部灰度值归类完毕,则结束,否则转步骤①。

表 1 为图 3 所示的像素点在 36 帧序列图像中的 R 分量灰度值及其类划分结果,并将文献[6]的灰度类划分法与本文的改进方法进行了对比,实验中两种方法取相同的阈值。文献[6]列和本文方法列对应的是灰度类编号。由类编号结果对比可以看出,本文方法仅将第 1~10 帧划分为一类,该平稳区中最大的灰度值为 165,而最小的灰度值为 134,二者差值为 31,可见分类准确度比文献[6]方法提高了 3 倍。另外,本文方法共分了 11 个灰度类,而文献[6]方法则只分了 8 类,由此可见,本文方法对类的划分更加灵敏、准确。

## 2.2.2 背景更新

设  $f(x, y, t)$  为第  $t$  帧运动检测得到的二值图像(0 为背景,1 为运动目标), $I(x, y, k, t)$  和  $B(x, y, k, t)$  分别为第  $t$  帧序列图像和背景像素灰度, $\bar{I}(k, t)$  为目标图像  $I(x, y, k, t)$  的均值,则相邻帧间的灰度均值变化量为

$$\Delta \bar{I}(k) = \bar{I}(k, t+1) - \bar{I}(k, t) \quad (2)$$

若  $\sum_k \Delta \bar{I}(k)$  大于阈值  $\beta$ ,即第  $t+1$  帧发生背景突变,则根据式(4)进行背景调整更新;否则,仅存在背景渐变,即根据式(3)进行背景更新。其中,

$\alpha$  为权值。

表 1 1 个像素点的灰度类划分结果比较  
Tab. 1 The comparison of classifying grayscale for a pixel

帧序号	灰度值	文献[6]方法	本文方法	帧序号	灰度值	文献[6]方法	本文方法	帧序号	灰度值	文献[6]方法	本文方法
1	163	1	1	13	122	1	3	25	161	3	6
2	163	1	1	14	115	1	3	26	155	3	6
3	163	1	1	15	115	1	3	27	156	3	6
4	165	1	1	16	99	1	3	28	157	3	6
5	154	1	1	17	86	1	4	29	157	3	6
6	156	1	1	18	68	1	4	30	138	3	6
7	152	1	1	19	82	1	4	31	141	3	6
8	155	1	1	20	131	2	5	32	180	4	7
9	151	1	1	21	163	3	6	33	146	5	8
10	134	1	1	22	171	3	6	34	66	6	9
11	124	1	2	23	168	3	6	35	127	7	10
12	105	1	3	24	163	3	6	36	173	8	11

$$B(x, y, k, t+1) = \begin{cases} \alpha B(x, y, k, t) + (1 - \alpha)I(x, y, k, t) & \text{若 } f(x, y, t) = 0 \\ B(x, y, k, t) & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$$B(x, y, k, t+1) = \begin{cases} B(x, y, k, t) + \Delta \bar{I}(k) & \text{若 } \sum_k |\Delta \bar{I}(k)| > \beta \\ B(x, y, k, t) & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

为了保证背景更新的可靠性,在实时更新的同时,辅之以定时更新,即每隔 10min 重新抽取最后的 100 帧图像序列,利用本文提出的像素灰度归类改进算法来重构背景。

### 2.3 运动目标检测

包含噪声和目标运动区域的二值图像  $f(x, y, t)$  可利用式(5)和式(6)求得,其中  $\gamma$  为设定的阈值。

$$h(x, y, k, t) = I(x, y, k, t) - B(x, y, k, t) \quad (5)$$

$$f(x, y, t) = \begin{cases} 1 & \text{若 } \sum_k |h(x, y, k, t)| > \gamma \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

对二值图像  $f(x, y, t)$  中的噪声可通过 8 邻域面积滤波去除,而对于二值图像  $f(x, y, t)$  中目标边缘的 0 值,则通过计算 8 邻域的有效像素数目个数予以校正,当该数目大于设定阈值时,则置为 1。对于二值图像  $f(x, y, t)$  内部的 0 值,可通过 4 邻域种子填充算法将其置为 1。

### 2.4 阴影检测和消除

#### 2.4.1 算法设计思想

交通监控视场中,由于受摄像头高度及视场光线和照明等因素的影响,采集的图像通常都包含目

标阴影,从而对目标的准确分割造成较大影响。在 RGB 颜色模型空间中,由于像素点处的 R, G 和 B 分量灰度值具有一定的相关性,因而不利于运动目标阴影去除。实验证明,阴影区域的像素亮度值一般比非阴影区域小,而色调和饱和度则变化不大。因此可以在 HSV 空间利用阴影的这些特点来实现阴影检测。

文献[10]、[11]通过比较第  $t$  帧图像  $I(x, y, t)$  与背景图像  $B(x, y, t)$  中的运动像素点的 H, S 和 V(或 I)值,并利用 3 个阈值条件判断阴影像素点。虽然该方法在一定程度上能实现阴影消除,但是在区分暗色运动目标(如黑色或深蓝色等)与其阴影时却遇到困难。由于交通监控视场中交通工具的底座、轮胎等都为暗色,车窗玻璃也呈现出不同程度的暗色,属于车体的这些有用信息将和阴影一同被去除。因此,仅利用色度和亮度信息进行阴影检测和消除是不够的。

实验中发现,交通监控系统的路面背景纹理变化简单,阴影内部区域的相邻像素间的亮度变化较小,且真实目标边缘与其阴影的交界处有较大的亮度变化,只要检测出这个交界点,便可较准确地区分和去除阴影,而且不受目标体是否为暗色的影响。因此,本文提出了 4 个方向(自上向下,自下向上,自左向右,自右向左)色调、亮度、边界交叉点判断法,并较好地实现了阴影区的检测和消除。为了提高计算速度,阴影检测和消除工作只针对检测到的运动目标区域。

#### 2.4.2 阴影检测和消除算法实现

设 2 维直角坐标系的方向和图像坐标系一致,  $x$  轴向右,  $y$  轴向下。阴影检测时,先对目标图像

$f(x, y, t)$  进行自上向下, 自左向右的扫描, 并对运动目标像素群连通域进行标记, 然后计算第  $i$  个目标连通域的最大和最小  $x, y$  坐标值  $x_i^{\min}(t), y_i^{\min}(t), x_i^{\max}(t), y_i^{\max}(t)$ 。

以自右向左顺序进行阴影检测和消除为例, 仅对  $f(x, y, t) = 1$  的像素点进行判断, 步骤如下:

(1) 对第  $i$  个目标的第  $L$  行自  $M = x_i^{\max}(t)$  列向左逐像素进行判断, 若前景中像素点  $(x, y)$  与左邻像素点  $(x - 1, y)$  间的亮度绝对差小于阈值  $T_3$ , 则该像素点为背景, 置  $f(x, y, t) = 0$ , 转步骤 (3)。否则转步骤 (2)。其中,  $L \in [y_i^{\min}(t), y_i^{\max}(t)], M \in [x_i^{\min}(t), x_i^{\max}(t)]$ 。

(2) 若该像素点的前景与背景的色调绝对差值小于阈值  $T_4$ , 且亮度差值在  $[T_5, T_6]$  范围内, 则该像素点为背景, 置  $f(x, y, t) = 0$ , 转步骤 (3)。否则转步骤 (4)。

(3) 像素点左移一位, 转步骤 (1)。  
 (4) 像素点已经移到目标的阴影交界点 (即目标的右边界点), 终止循环, 结束。

自左向右、自上向下以及自下向上地进行阴影检测和消除的原理与此类似。

对通过上述阴影消除得到的二值图像, 进行面积滤波, 首先去除少许小阴影碎片; 然后利用形态学膨胀再腐蚀来平滑和校正目标边缘。

图 4 所示为对暗色目标阴影混合区 (图 4(a)) 利用本文算法进行阴影检测和消除的结果 (图 4(b))。图 4(a) 和图 4(b) 均为目标右侧的局部放大图。图 4(b) 中消除掉的为目标右侧阴影像素点。

### 3 实验结果与讨论

本文视频是在南京市某路面拍摄的交通场景  $320 \times 240$  AVI 录像, 帧率为 30 fps, 并基于 Windows XP, Pentium 4 计算机进行了仿真实验。

#### 3.1 背景重构实验结果

图 5(b) 为采用本文方法重构的 R 分量背景局部放大图, 图 5(a) 为采用文献 [6] 方法重构的 R 分量背景局部放大图, 阈值参数取  $T_1 = T_2 = 25$ 。图 5(a) 中的黑色圆内标出的是局部像素灰度值有误的地方, 错误的灰度值呈现出类似于噪声点的分布。图 5(b) 中则有效地消除了这种现象, 可见, 本文方法具有更高的准确性。

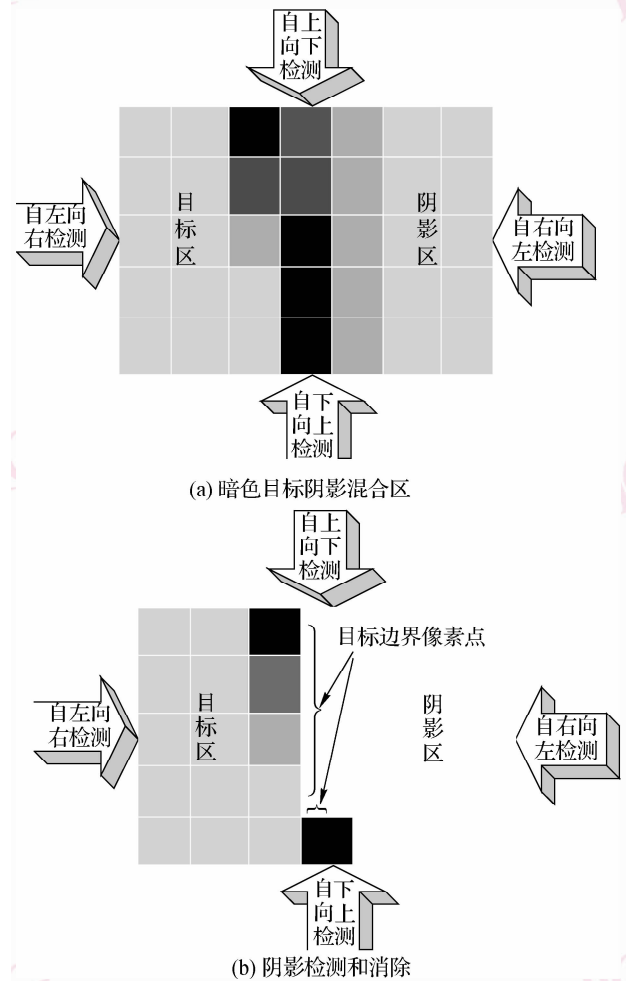
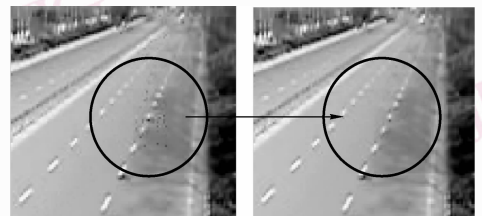


图 4 暗色目标的阴影检测和消除

Fig. 4 Shadow detection and elimination of the dark object



(a) 文献[6]方法重构背景 (b) 本文方法重构背景

图 5 背景重构结果对比

Fig. 5 The comparison of background reconstruction

#### 3.2 阴影检测和消除实验结果

图 6 和图 7 所示的视频包含了各种暗色目标和非暗色的运动目标, 目标的阴影明显地覆盖了路面。由于运动车辆车体反光会对路面灰度造成微小变化, 从而导致检测出来的阴影区比理想情况有所扩展 (图 6(b) 和图 6(c), 图 7(b) 和图 7(c))。

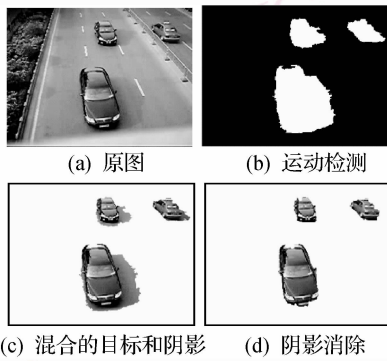


图 6 暗色目标阴影检测和消除

Fig. 6 Shadow detection and elimination for dark objects

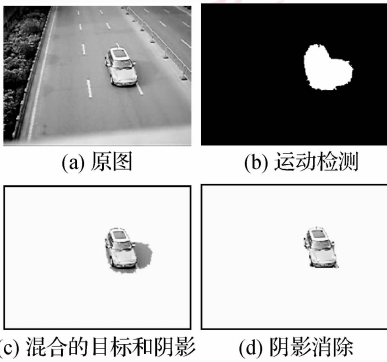


图 7 非暗色目标阴影检测和消除

Fig. 7 Shadow detection and elimination for light objects

在相同的阈值分割、阴影检测参数 ( $T_3 = 0.078$ ,  $T_4 = 50$ ,  $T_5 = -0.078$ ,  $T_6 = 0$ ) 下,对暗色和非暗色运动目标进行阴影消除的结果如图 6(d) 和图 7(d) 所示。由图 6(d) 和图 7(d) 可见,本文方法能完整地为目标阴影混合区提取真实目标,不仅能准确消除阴影,且提取的目标边界光滑;对暗色和非暗色运动目标的阴影消除均具有一定的鲁棒性。

## 4 结 论

基于灰度归类的背景重构改进算法,提高了背景图像的质量,并有利于提高运动目标检测的效率和准确性。在 HSV 空间利用 4 个方向色调、亮度和边界交叉点判断法进行阴影检测和消除,不仅准确度高、灵活性强,而且适应室外阴影随光照方向变化的实际,从而解决了暗色目标和阴影难区分的问题。另外,采用的滤波、种子填充、边界校正等算法进一

步保证了目标信息的有效性和完整性。本文的运动检测部分(2.3 节)仅采用了简单的阈值法,自适应运动检测是下一步的工作重点,以进一步提高目标分割的质量。

## 参考文献 (References)

- Ridder C, Munkelt O, Kirchner H. Adaptive background estimation and foreground detection using Kalman-filtering [A]. In: Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Mechatronics [C], Istanbul, Turkey, 1995:193-199.
- Stauffer C, Grimson W E L. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8):747-757.
- Li L Y, Huang W M, Gu I Y H, et al. Statistical modeling of complex backgrounds for foreground object detection [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(11):1459-1472.
- Long W, Yang Y. Stationary background generation: An alternative to the difference of two images [J]. Pattern Recognition, 1990, 23(12):1351-1359.
- Haritaoglu I, Harwood D, Davis L. W4: Real-time surveillance of people and their activities [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8):809-830.
- Hou Zhi-qiang, Han Chong-zhao. A background reconstruction algorithm based on pixel intensity classification [J]. Journal of Software, 2005, 16(9):1568-1575. [侯志强, 韩崇昭. 基于像素灰度归类的背景重构算法 [J]. 软件学报, 2005, 16(9):1568-1575.]
- Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Shadow identification and classification using invariant color models [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing [C], Salt Lake City, Utah, USA, 2001, 3:1545-1548.
- Guan Ye-peng, Gu Wei-kang. Automatic and robust shadow segmentation from two-dimensional scenes [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(4):624-627. [管业鹏, 顾伟康. 二维场景阴影区域的自动鲁棒分割 [J]. 电子学报, 2006, 34(4):624-627.]
- Jiang C, Ward M O. Shadow identification [A]. In: Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Champaign, IL, USA, 1992:606-612.
- Pan Xiang. Moving shadow detection based on color information and edge features [J]. Journal of Zhejiang University, 2004, 38(4):389-391. [潘翔. 基于彩色信息和边缘特征的运动阴影检测 [J]. 浙江大学学报, 2004, 38(4):389-391.]
- Cucchiara R, Grana C, Piccardi M et al. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information [A]. In: Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference [C], Oakland, CA, USA, 2001:334-339.
- Kornprobst P, Deriche R, Aubert G. Image sequence analysis via partial difference equations [J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 1999, 11(1):5-26.