

视频监控系统中运动目标检测的阴影去除方法

付萍¹, 方帅², 徐心和¹, 薛定宇¹

(1. 东北大学人工智能与机器人研究所, 沈阳 110004; 2. 合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009)

摘要: 在分析了阴影产生的原因及视觉特性的基础上, 针对固定场景的运动目标检测问题, 提出了一种具有实际应用价值的阴影检测与去除方法。该方法通过背景建模和背景差分方法分割出运动目标及其可能存在的阴影, 采用光照评估方法判断阴影是否存在, 进而运用多梯度分析和二值图像的快速聚类算法检测出阴影, 去除阴影并分割运动目标。实验验证了该方法的有效性。

关键词: 视频监控; 阴影去除; 运动目标检测; 梯度分析

Approach for Shadow Removal of Moving Object Detection in Surveillance System

FU Ping¹, FANG Shuai², XU Xinhe¹, XUE Dingyu¹

(1. Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Northeastern University, Shenyang 110004;

2. School of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

【Abstract】 The method of the shadow detection and remove which has application value is proposed based on analyzing visual properties concerning shadows for visual surveillance purposes. The method proposed is essentially based on background modeling and background subtraction which aim to segment moving object and the corresponding shadow. It decides whether there are shadows in a given foreground figures. A method based on illumination assessment is developed for this purpose. Multi-gradient analysis and a fast clustering algorithm for thresholded image are employed to detect the shadow. Shadow is removed and the object is segmented. Experimental results are given to demonstrate the effectiveness and practicality of the method.

【Key words】 Surveillance system; Shadow removal; Moving object detection; Gradient analysis

1 概述

视频监控系统通常采用固定的 CCD 摄像机对某一场景进行连续不断地监视, 并对采集到的序列图像进行处理和分析, 实现对运动目标的自动检测、识别和跟踪。但视频图像受光源的影响很大, 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。阴影与目标粘连, 常被误作目标的一部分, 从而影响目标的长度、宽度等几何形状参数。当两个甚至多个目标因为阴影而相互粘连成一块时, 将增加目标分割的难度, 并对后续的认识、跟踪造成负面影响, 使系统的整体性能下降。

阴影具有两个重要的视觉特征: (1)阴影显著异于背景而被理解为前景; (2)目标与其阴影具有相同的运动属性。因此阴影检测十分困难, 将目标与阴影分离是实际应用系统中必须解决的问题。阴影分为两类: 自身阴影和投射阴影^[1]。自身阴影是目标表面未被光源直接照射而形成的暗区域; 投射阴影是指在光线照射方向上由于目标遮挡而形成的背景中的暗区域。如图 1 所示, 根据目标的受光情况, 一幅二维图像可划分为几个互不相交的区域, 即目标区(object area)、背景区(background area)、自身阴影区和投射阴影区(self-shadow area and cast-shadow area)。视频监控系统主要关注运动目标投射阴影(moving cast shadow)的检测, 而静态投射阴影(如场景中树的阴影等)通常当作背景考虑。

目前阴影检测方法主要有基于模型和基于颜色特征的方法。基于模型的方法^[2,3]假设目标的三维形状和光源属性已

知, 通过模型可以精确地计算出阴影的形状和位置, 但这在实际应用中是不现实的。基于颜色特征的方法主要根据目标和阴影不同的光学和颜色特征来分离目标和阴影, 如文献[4]利用阴影的光学特性, 并结合纹理特征, 采用区域生长的方法来检测阴影; 文献[5]在HSV彩色空间, 利用色度、饱和度和亮度 3 方面的信息展开分析, 对阴影进行检测和识别。以上方法在阴影检测及运动目标分割中取得了很好的效果, 但利用了较多的先验知识并有许多限制条件, 不能随着环境或视场变化而相应做出调整, 在实际应用中受到很大制约。



图 1 阴影区域划分示意图

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2001AA422270); 国防预研基金资助项目

作者简介: 付萍(1973-), 女, 博士生, 主研方向: 运动目标的检测与跟踪; 方帅, 讲师; 徐心和、薛定宇, 教授、博导

收稿日期: 2006-06-20 E-mail: pingshui000@163.com

本文以固定摄像头视频监控系统 and 基于视觉的识别控制系统的应用为目的, 提出了一种阴影检测与去除的方法。该方法只利用了阴影的一般特性, 在实际应用中具有较高的有效性和通用性。算法简洁且物理意义明确。

2 阴影检测和去除的总体思路

在针对固定场景的视频监控系统中, 对监控场景的背景图可以预先得到并把背景图作为参考图, 通过场景图像与背景图像差分来分割出前景(目标)。

本文提出的阴影检测算法的总体流程如图 2 所示。在进行阴影检测和去除之前, 首先通过背景建模和背景减法提取包括阴影在内的前景图集 $E = \{E_1, \dots, E_n\}$ (运动目标集)。然后采用光照评估的方法判断前景图像 E 中是否存在阴影。如果存在阴影, 则通过多梯度分析和二值快速聚类方法检测出阴影 e_i , 最后目标集与阴影相减实现阴影去除并分割出真正的运动目标。

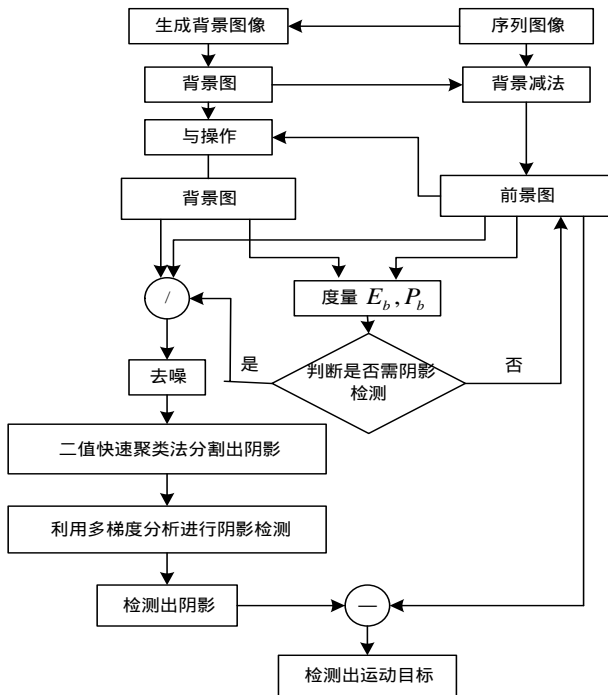


图 2 阴影检测和去除算法流程

3 阴影检测及去除算法

3.1 阴影存在的判断

Wixson et al^[6,7]通过计算图像中每个像素的亮度和能量值来区分目标、背景和阴影, 提出了一种评估光照分配的阴影检测方法。本文采用光照评估方法判断已经分割出的前景目标中是否存在阴影。定义 n_b 、 n_d 分别为图像的亮、暗像素的个数, 如果前景像素的 R、G、B 值小于相应背景像素的值, 那么前景像素被认为是暗像素; 反之被认为是亮像素。用 S_d 、 S_b 分别表示所选择的图像暗、亮像素的集合。根据式(1)计算集合 S_d 、 S_b 的能量值 E_d 、 E_b 。

$$E_j = \frac{\sum_{i \in S_j} e_i}{n_j} \quad j \in \{b, d\} \quad (1)$$

其中, n_j 是集合 S_j 的像素数量。

$$e_i = \left(\sum_{j \in N_i} |I_i - I_j| \right) / n$$

是像素 I 的能量值, I_i 、 N_i 和 n 分别是像素 I 的邻域的密度值、邻域集合和邻域像素数。目标在场景中通常要比其阴影的亮

度高, 可以用亮度的能量值 E_b 来表示目标的可视程度, 同时也反映场景的亮度水平。

当场景中的目标是清晰可见的, 则场景是高亮级, 如有光照的白天。当目标是难以辨认的, 那么场景是低亮级, 如晚上、雨天或雾天等。阴影通常发生在具有高亮度的白天, 用亮度能量值 E_b 来判断阴影是否存在, 同时引入参数 $P_d = n_d / n_b$ 来表示图像中暗与亮的相对尺度。如果 E_b 较小, 或者 E_b 较大但 P_d 较小, 说明亮度级较低或相对场景而言阴影尺寸较小, 即不需要进行阴影检测。

3.2 阴影检测与去除算法

本文通过将当前图与背景图相除, 宽泛的阈值分割, 并采用多种梯度算子, 以度量平坦度的方式来检测与去除阴影。

3.2.1 阴影的初步检测

根据视觉经验可得如下结论: 在一定的亮度条件下, 同一物体在阴影区内和不在阴影区内的色调是近似一致的, 以 RGB 的彩色空间为例, 如果均匀成比例地减小某种彩色的全部系数, 则只有亮度在变化, 而色调是不变的, 即只要 $R : B : G$ 的比值不变, 色调就不会发生变化^[8]。阴影区内的物体, 由于色彩没有发生变化(或变化很小可以忽略), 因此只是相当于 RGB 分量同时乘一个系数 k , 同样将彩色图像转换成灰度图像, 阴影部分的灰度也乘以系数 k 。

$$\begin{aligned} gray_{shadow} &= \beta_1 R_{shadow} + \beta_2 G_{shadow} + \beta_3 B_{shadow} \\ &= \beta_1 k \times R + \beta_2 k \times G + \beta_3 k \times B \\ &= k \times (\beta_1 R + \beta_2 G + \beta_3 B) \\ &= k \times gray \end{aligned} \quad (2)$$

文献[5]指出阴影区可看作半透明区域, 并且在阴影区域内, 相对于背景图像的光学增益是一定值且小于 1 (即 $k < 1$)。有研究证明背景中的像素点和阴影中的对应像素点的比率是线性的。文献[9]通过实验发现这个比率值的范围是 1~2.5 (即 $1/k$ 为 1~2.5)。

基于以上分析, 将当前图与背景图相除, 得到阴影图像 $D(i, j)$ 。通过分析目标、阴影和含有阴影的目标灰度值的柱状图, 得出阴影灰度值的大致分布范围, 进而确定宽泛的阈值, 分割出潜在的阴影区域 $R(i, j)$ 。

$$R(i, j) = \begin{cases} D(i, j) & \text{if } T_m < D(i, j) < T_M \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

针对 $R(i, j)$ 中的非零区域, 利用梯度分析图像的平坦度, 最终检测出阴影。

3.2.2 多梯度分析

梯度算子操作的目的是使波动大区域的对比度得到增强, 而平坦的区域更趋于一致。本文使用了如下梯度操作:

$$g = |G_1| + |G_2| \quad (4)$$

如图 3 所示, 本文定义了水平、垂直和对角方向上的 3 对梯度操作。

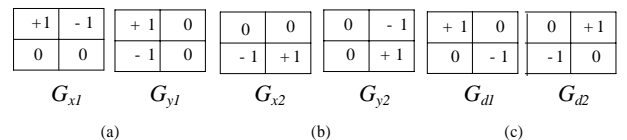


图 3 不同方向的梯度算子

又如如图 4(a)、图 4(b)、图 4(e)、图 4(f)所示, G_{x1} 和 G_{x2} 适合检测垂直方向的边界; G_{y1} 和 G_{y2} 适合检测水平方向的边界, G_{d1} 和 G_{d2} 适合检测两种对角方向的边界; G_{x1} 和 G_{y1} 的组合梯度算子适合检测图 4(c)所示边界; G_{x2} 和 G_{y2} 的组合梯度算子适合检测图 4(d)所示的边界。采用式(4)计算图 3 的 3 对梯度,

记为 $g_n, n=1,2,3$ 。如果3个梯度中的梯度值小于给定阈值 T_g ，则认为它是阴影，最终得到阴影的二值图像，记为 $G(i,j)$ 。

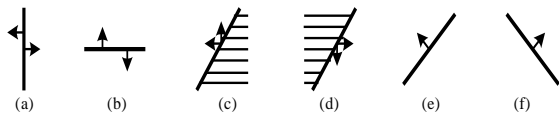


图4 不同梯度算子适于检测的边缘示意图

$$G(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } g_n |_{R(i,j)} < T_g \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

由此可知，二值图 $G(i,j)$ 是通过 g_1, g_2, g_3 3梯度的或运算并阈值分割得到的。这样做的目的是为了能够更好地分割阴影。如果进行 g_1, g_2, g_3 3梯度的与运算并阈值分割，则可以减少误识别阴影的信息(false positive signals)，但同时也减少了真正阴影的信息，特别是沿着阴影边界的信息。

3.2.3 二值图像分割的快速聚类算法

利用上述方法得到的二值图像 $G(i,j)$ 中，包含了真正的阴影信息，同时也可能存在一些伪阴影信息，但伪阴影的密集度比真正的阴影信息的密集度肯定要小很多，可以利用文献[10]中的聚类技术检测出真正的阴影。该算法的基本思想是：充分考虑二值图像中目标点分布的特点，如同一行中列相邻的目标点一定属于同一类等，并且不需要事先确定总类数，而是自动生成；只扫描图像一次，并将图像扫描过程于聚类过程融为一体，扫描结束，聚类完成；从而很大程度上提高了算法的可执行速度。

4 实验结果



图5 阴影检测及目标分割实验结果

为了验证本文算法的有效性，选择两帧光照较强的图像，图5(a)为实际拍摄的当前图像，图5(b)为预先得到的背景图。根据3.1节中的阴影判断方法计算得到 $E_b = 71.92, P_d = 3.77$ ，说明运动目标有阴影存在。用背景图像 $B(i,j)$ 除以当前图像 $F(i,j)$ ，得到输出图像 $D(i,j)$ ，即

$$D(i,j) = B(i,j)/F(i,j)$$

为了扩大 $D(i,j)$ 的动态范围，将输出图像 $D(i,j)$ 乘以系数 γ ， γ 取经验值50。图5(c)为通过背景差分检测到的目标极其阴影。图5(d)为本文算法检测到的阴影。图5(e)为取出阴影后分割出的运动目标。可见本文提出的阴影检测去除方法能够较好地检测去除运动目标产生的阴影，分割出目标。

5 结语

运动目标的检测、跟踪与识别是视频监控系统中的关键技术，而由于光照变化而产生的运动目标阴影的检测和去除直接关系到视频监控系统的整体性能。

本文在详细分析阴影产生的原因及视觉特性的基础上，提出了一种新的阴影检测与去除方法。该方法针对固定场景的视频监控系统，场景的背景图像可以提前产生，可以快速从输入图像中分割出前景图，而后续的阴影检测与去除方法均在前景图上进行，这样可以有效地节省系统的处理时间。此外，光照与天气、不同的时刻等因素有关，而阴影的产生又与光照密不可分，本文的阴影检测和去除算法中的光照及阴影的自动检测和判断功能，也具有较高的实际应用价值。

参考文献

- 王运琼, 游志胜, 刘直芳. 基于空间特征的汽车阴影分割方法[J]. 光电工程, 2003, 30(2): 64-71.
- Thirion J B. Realistic 3D Simulation of Shapes and Shadows for Image Processing[J]. Graphical Models and Image Processing, 1992, 54(1): 82.
- Koller D, Danilidis K, Nagel H H. Model-based Object Tracking in Monocular Image Sequences of Road Traffic Scenes[J]. Computer Vision, 1993, 10(3): 257-281.
- Rosin P L, Ellis T. Image Difference Threshold Strategies and Shadow Detection[C]//Proceedings of the British Conference on Machine. 1995: 347-356.
- Horprasert T, Harwood D, Davis L S. A Statistical Approach for Real-time Robust Background Subtraction and Shadow Detection[EB/OL]. 2002-12-15. <http://fizbin.eecs.lehigh.edu/~tbout/FRAME/Horprasert/HorprasertFRAME99.pdf>.
- Wixson L. Illumination Assessment for Vision Based Traffic Monitoring[C]//Proc. of the 13th Int'l Conf. on Pattern Recognition. 1996: 56-62.
- Wixson L, Hanna K, Mishra D. Improved Illumination Assessment for Vision-based Traffic Monitoring[C]//Proc. of IEEE Workshop on Visual Surveillance. 1998: 34-41.
- 海因维希·朗格. 色度学与彩色电视[M]. 北京: 中国电影出版社, 1985.
- Bevilacqua A, Roffilli M. Robust Denoising and Moving Shadows Detection in Traffic Scenes[C]//Proc. of IEEE CVPR Technical Sketches Conf., Kauai, Hawaii. 2001: 1-4.
- 杨威, 张田文, 师海峰. 一种用于二值图像分割的快速聚类算法[J]. 计算机研究与发展, 1998, 35(8): 719-723.