

路况视频中 HSV 彩色不变量阴影 检测法研究与改进

董蓉 李勃 陈启美

(南京大学电子科学与工程系, 南京 210093)

摘要 为解决视频检测中车辆阴影的影响,研究了常用的基于 HSV 彩色不变量的阴影检测方法,指出对于路面区域,阴影覆盖前后色调 H 分量和饱和度 S 分量近似不变的特性不总是成立,并以实例证明色调变换的奇异性也将导致该方法受限,继而提出了一种改进算法,利用两个色彩分量的变化量之比近似不变的特性进行阴影检测,其更适合路面环境。实验结果证明,所提出的改进算法能够较好地分离车身及其阴影,有助于准确提取交通信息。

关键词 智能交通 阴影检测 HSV 彩色不变量 奇异性

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)12-2483-06

Research and Improvement on Shadow Detection in Expressway Videos Using HSV Color Model

DONG Rong, LI Bo, CHEN Qi-mei

(Department of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Aimed to reduce the influence of car shadows on video detecting, this paper researched into the invariance of HSV color model which was often used in shadow detection, and pointed out that the invariance of hue and saturation before and after shadow casting is not always satisfied on the road area, and exemplified the limitations of the method caused by the singularity of the hue transform. Then an improved algorithm based on the invariance of the ratio of two different color variant values was presented which is more suitable for road environment. Experimental results show that the developed algorithm can distinguish the car and its shadow better and help to extract accurate traffic information.

Keywords ITS, shadow detection, HSV, invariant color model, singularity

1 引言

提取视频图像中的运动物体是视频检测的第一步。通常采用的背景减除或帧间差分算法往往将运动物体的阴影误检为目标,而造成跟踪和识别的错误、车辆的错误定位和分割,从而对车速、车流量、队列长度、排队时间等交通参数视频检测的精度带来

误差。因此,减小乃至消除阴影干扰,从视频流中准确分割出运动物体,是视频的检测亟待解决的重要问题。

阴影检测大致包括基于纹理信息和色彩信息两类算法。纹理信息阴影检测法的机理在于阴影覆盖前后区域是否具有相似的纹理。Leone 提出的 Gabor 函数描述纹理算法^[1]复杂,运算量大,难以满足实时要求;Cezar 提出通过阴影覆盖

基金项目:中国交通部基金项目(2004 353 332 04);江苏省交通科学研究项目(05x008)

收稿日期:2008-06-24;改回日期:2008-10-29

第一作者简介:董蓉(1984~),女。现于南京大学攻读通信工程专业硕士学位。主要研究方向为机器视觉、视频检测等。

E-mail: drwistaria@gmail.com

前后的近似线性关系^[2],计算归一化互相关函数来区分阴影点,此法描述纹理较粗糙,且对阴影和背景边缘检测效果不佳,也存在难以实时处理的问题。

利用色彩信息的阴影检测算法大致分为两类:一类是利用区域被阴影覆盖前后色彩信息的线性关系。如文献[3]用对角矩阵 D 描述像素点被阴影覆盖前后 RGB 值的线性关系,该方法需要人工预先划分出序列中的阴影区域来获取 D 矩阵初值,可行性太低,且不适于云台摄像机实时自动检测;另一类是基于彩色不变量。这类算法是目前应用较多的方法。文献[4]指出彩色空间变换量诸如 HSV,归一化 RGB 等不随视角、物体表面法线及光照条件的变化而变化,可以用来检测阴影。其中,HSV 彩色空间由于比较接近人眼视觉特性,应用广泛^[5-7]。但是,实验发现,在高速路况视频流中,这一方法效果欠佳。文献[8]提到 H, S 分量并不总是有用,但未对此深入研究,且在阴影检测环节中忽视了该问题。

从彩色不变量的局限性和色调变换的奇异性出发,主要阐明 HSV 彩色不变量方法应用于高速路况视频流阴影检测的局限性,并在研究路面对日光的分波段反射情况的基础上,提出一种适用于高速公路交通视频流的投影阴影检测算法。

2 路况视频检测系统中的阴影抑制

阴影检测的目的是减少运动车辆阴影对视频检测的影响,因此只需针对视频中的运动区域进行阴影检测。

常用的运动区域提取可采用帧间差分或背景减除的方法。前者利用车辆在相继两帧图像中的微小运动进行检测,缺点是不能检测停止的车辆,且路况拥挤、车辆交叠时检测效果欠佳。背景减除算法相对简单,但是需要维护背景。

由于环境光线会不断发生变化,所使用的背景模型也应随之变化,才能保证准确的分割。另外,阴影检测算法中也需要用到背景信息,通过背景和当前帧图像的色彩信息比较以确定阴影区域。综上,系统采用背景减除的算法来检测车辆。基于阴影抑制的路况视频检测系统如图 1 所示。

背景图像采用基于混合高斯模型的 MOG (Mixture of Gaussian) 方法^[9]获得。MOG 方法的优

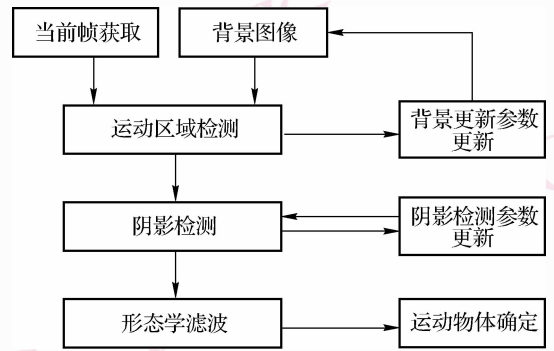


图 1 基于阴影抑制的路况视频检测系统

Fig. 1 Traffic video detection system with shadow removed

点是可以进行多层背景检测,防止摇晃的树叶等被检测为运动前景。

考虑到交通环境的多变,背景更新和阴影检测算法中的参数都进行实时更新。在确定最终运动物体之前还需要进行一些形态学操作以去除噪声干扰。

3 阴影光照模型

区域被阴影覆盖前后的光强差为^[10]

$$\Delta S = c_p \cos(N(x), L) \rho(x) \quad (1)$$

c_p 为光源光强, $N(x)$ 为物体表面法向方向, L 为入射光线方向, ρ 是物体表面反射系数。在 RGB 三通道中的光强差分别为

$$\Delta S_R = c_p \cos(N(x), L) \rho_R(x)$$

$$\Delta S_G = c_p \cos(N(x), L) \rho_G(x)$$

$$\Delta S_B = c_p \cos(N(x), L) \rho_B(x) \quad (2)$$

4 HSV 彩色不变量方法探讨

中性界面反射模型^[11]下,认为反射系数 ρ 与波长无关,因而有:

$$\Delta S_R = \Delta S_G = \Delta S_B \quad (3)$$

依据式(3),区域被阴影覆盖前后,在 HSV 彩色空间中,色调 H 分量和饱和度 S 分量也具有近似不变的特性,而亮度 V 分量则会减小,因而可以用下式所示的 HSV 彩色不变量方法来检测阴影。

$$\begin{aligned} \omega_1 &\leq \frac{I(x)_V}{B(x)_V} \leq \omega_2 \\ |B(x)_H - I(x)_H| &< T_H \\ (I(x)_S - B(x)_S) &< T_S \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $B(x)$ 为背景帧像素值, $I(x)$ 为当前帧像素值。 $\omega_1, \omega_2, T_H, T_S$ 为各算式阈值。

当前帧的某个像素点同时满足式(4)中 3 个关系时就归为阴影像素。

虽然 HSV 彩色不变量方法应用很多,但是该方法在高速路况视频的阴影检测应用中存在一些问题,体现在彩色不变量的局限性和色调变换的奇异性。

4.1 彩色不变量的局限性

实际上,反射系数 ρ 与波长有关。当图像饱和度和亮度较大时,由反射系数不同导致的光强差异可以忽略,但对于高速公路路面及周围的草木尘土等,饱和度较小,亮度较低,此时由 ρ 造成的光强差异不可忽略。

图 2 为使用 ASD(analytical spectral device) 地物光谱仪在室内测得的水(纯净水)、植被(针叶树)、土壤(黏土)和岩石(粉砂岩)的光谱反射率曲线^[12]。由图 2 可见,反射率随着光波长不同而不同,相比而言,蓝光和绿光反射率比较接近,红光反射率起伏较大。由图 2 可知,被阴影覆盖后区域的色彩分布有变化,蓝色调加重。

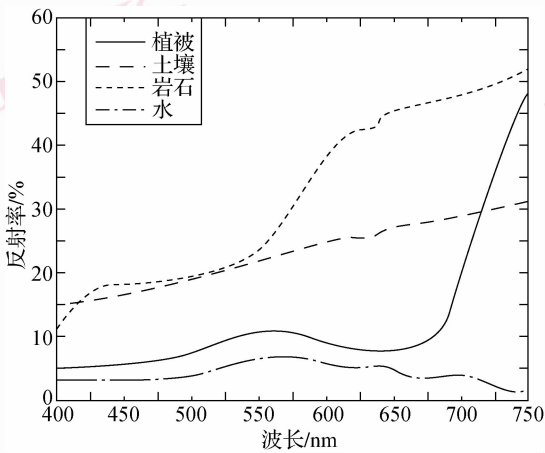


图 2 几种物质的反射率

Fig. 2 Reflectivity of several matters

4.2 色调变换的奇异性

高速公路路面的色调和饱和度都很低,其 R, G, B 3 分量的分布非常接近。由于色调变换的奇异

性^[13],结合路面 RGB 分布接近的情况,由红绿蓝 3 种光波长不同、反射系数不同带来的光强差即使比较小,也会对 H 分量带来很大影响。因而,色调分量的不变性不成立。

当 R, G, B 3 分量很接近的时候, S 分量也相当小,因而很容易受到噪声干扰,不适宜用来作为检测阴影的判据。图 3 显示了利用 HSV 彩色不变量进行阴影检测的结果。实验中,像素值取值范围为 0 ~ 255。 T_S 取值高达 50,由图 3(d)可见,虽然大部分阴影区域被消除,但是对车身的腐蚀也较为严重;而 T_H 取值高达 100,在此情况下,由图 3(c)可见仍有大部分阴影未被消除,且车身也已被腐蚀。采用 HSV 彩色不变量方法时,区域若满足式(4)才被归为阴影,显然由于色调分量 H 的奇异性,这种方法只能消除很小一部分的阴影。实验结果与前文的分析相吻合,进一步说明了 HSV 彩色不变量方法不适用于路况阴影检测。

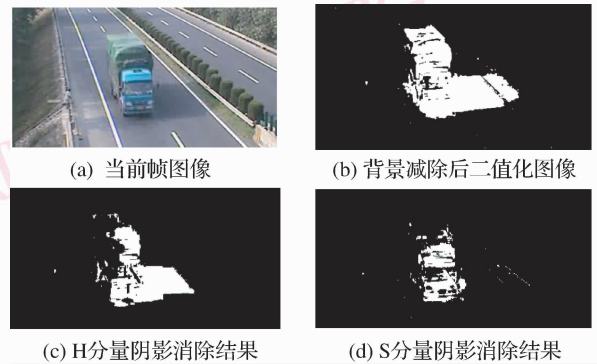


图 3 HSV 彩色不变量方法阴影检测结果

Fig. 3 Shadow detection result using HSV method

5 色彩变化量比例法

鉴于彩色不变量的局限性和色调变换的奇异性,提出一种基于色彩变化量比例的阴影检测方法。

如第 4 节所述,在中性界面反射模型下,彩色不变量是检测阴影的很好判据,但是在交通视频流这一特殊情况下,彩色不变量的应用存在局限性。考虑到如下关系:

$$\begin{aligned} \frac{I_R(x) - B_R(x)}{I_G(x) - B_G(x)} &= \frac{\Delta S_R}{\Delta S_G} = \frac{\rho_R}{\rho_G} \\ \frac{I_G(x) - B_G(x)}{I_B(x) - B_B(x)} &= \frac{\Delta S_G}{\Delta S_B} = \frac{\rho_G}{\rho_B} \end{aligned} \quad (5)$$

式中, $I_i(x)$ ($i = R, G, B$) 为当前帧中该像素点的值, $B_i(x)$ ($i = R, G, B$) 为背景图像中该像素点的值。理论上, 满足式(5)的运动像素即为图像阴影, 但是, 路面的 $\rho_R/\rho_G, \rho_G/\rho_B$ 很难得到, 而且对不同的路面各不相同, 而对于某一固定路面, 该比值相对稳定。下式给出了依据该原理的阴影检测算法:

$$\alpha < \frac{I_R(x) - B_R(x)}{I_G(x) - B_G(x)} < \beta$$

$$\xi < \frac{I_G(x) - B_G(x)}{I_B(x) - B_B(x)} < \zeta \quad (6)$$

式中, $(\alpha, \beta), (\xi, \zeta)$ 是以 $\rho_R/\rho_G, \rho_G/\rho_B$ 为中心的一个区间, 它们根据实际情况自动调节。 $\alpha, \beta, \xi, \zeta$ 都是未知参数, 需要设定初值, 然后对 $\alpha, \beta, \xi, \zeta$ 4 个参数进行实时更新。

以 α, β 为例, 按如下流程更新:

(1) 设定初始值: $\alpha = 0.8, \beta = 1.3$;

(2) 利用式(6)的判据从检测到的运动区域中区分出运动物体和物体阴影, 并利用下式计算出更新 α, β 所需的参数;

$$\tilde{\kappa}(t) = \frac{1}{N} \sum_{x \in \text{shadow}} \left| \frac{I_R(x) - B_R(x)}{I_G(x) - B_G(x)} \right|$$

$$\tilde{\sigma}^2(t) = \frac{1}{N} \sum_{x \in \text{shadow}} \left| \frac{I_R(x) - B_R(x)}{I_G(x) - B_G(x)} - \tilde{\kappa}(t) \right|^2 \quad (7)$$

式中, $\tilde{\kappa}(t)$ 为当前检测到的阴影区域的所有像素的 $(I_R(x) - B_R(x))/(I_G(x) - B_G(x))$ 值的均值, $\tilde{\sigma}(t)$ 为当前检测到的阴影区域内所有像素的 $(I_R(x) - B_R(x))/(I_G(x) - B_G(x))$ 值的方差。

(3) 更新 α, β :

$$\alpha(t) = (1 - \eta)\alpha(t-1) + \eta(\kappa(t) - \sigma(t))$$

$$\beta(t) = (1 - \eta)\beta(t-1) + \eta(\kappa(t) + \sigma(t)) \quad (8)$$

η 代表更新的比例强度, 实验中设为 0.3。 ξ, ζ 也利用类似方法进行更新。

为了排除运动物体中较暗或较亮且色彩信息较少部分对检测结果的干扰, 利用图像的亮度信息对结果进行修正。同时将满足式(6)和下式的像素确定为阴影像素。

$$\omega_1 < \frac{I_V(x)}{B_V(x)} < \omega_2 \quad (9)$$

I_V 为当前帧的亮度值, B_V 为背景帧的亮度值。

综上所述, 该阴影检测算法流程如图 4 所示。

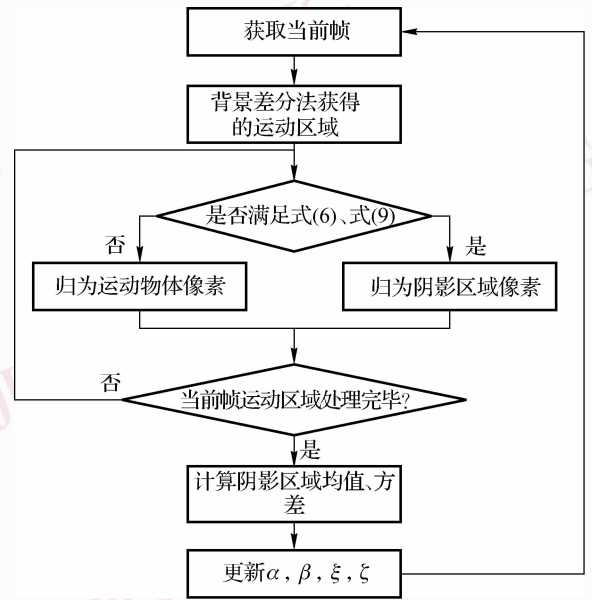


图 4 阴影检测流程

Fig. 4 Process of shadow detection

6 实验与分析

本文阴影检测算法在自行研制的高速公路监控系统上运行。测试平台是 P4, 2.4 GHz、单 CPU; 512 M 内存; SUSE 10.2 Linux 操作系统。输入的监视图像序列为 MPEG-2 编码方式, 帧率为 25 fps, 分辨率为 704×576 。

实验选取宁连高速路段视频图像, 按照图 1 和图 4 所示流程进行, 图 5, 6, 7 显示了 3 次检测结果, 以及与 HSV 算法的对比。灰色部分为检测到的阴影区域。实验中 ω_1, ω_2 取为 0.2, 0.85。

对路段 1, 应用本文算法, 当程序运行至当前帧时, $\alpha, \beta, \xi, \zeta$ 值分别为 1.353, 0.518, 1.229, 0.407。由图 5、图 6 可见, 应用本文算法的最终检测结果中, 大部分阴影被检测到; HSV 算法的检测结果与图 3 所示情况类似, H 分量的阈值控制只能检测到小部分阴影, S 分量的阈值控制虽能检测到大部分阴影, 但是同时也把车身较大部分误检为阴影, 融合两者, 只有一小部分阴影被检测到。

图 7 中运动车辆基本呈灰色, 与阴影色彩相近, 实验结果表明, 这种情况下无论是本文算法还是 HSV 算法结果都不理想, 车身大部分区域被误检为阴影, 如何解决该问题是今后进一步研究的方向。

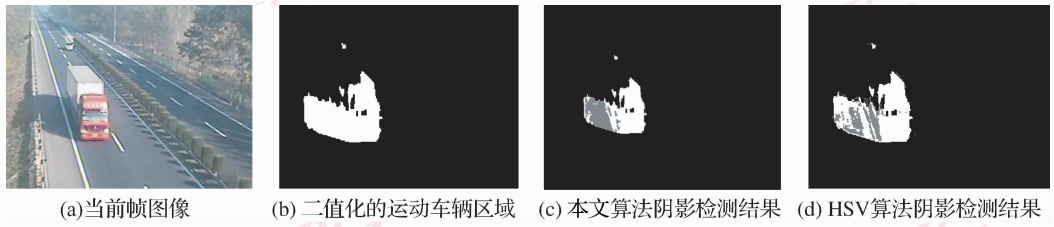


图 5 路段 1 两种算法阴影检测结果

Fig. 5 Results of two shadow detection methods on one road condition

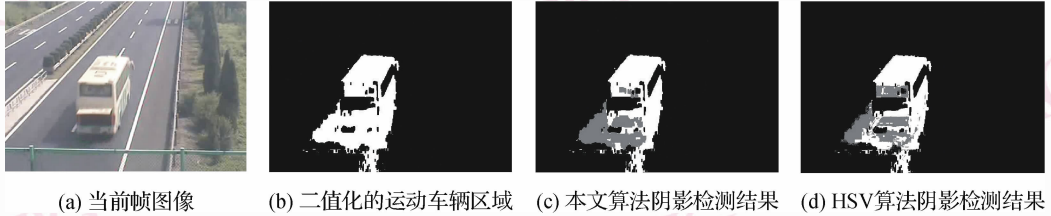


图 6 路段 2 两种算法阴影检测结果

Fig. 6 Results of two shadow detection methods on another road condition

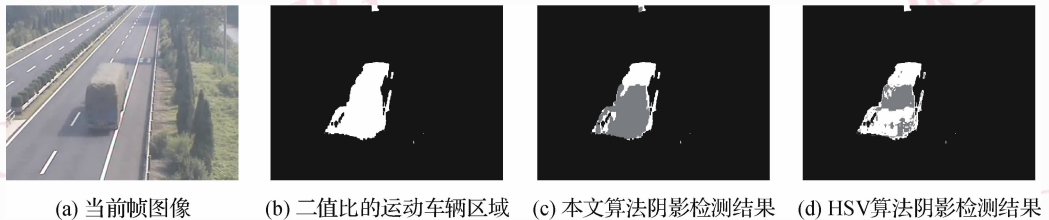


图 7 灰色车辆情况下两种算法检测结果

Fig. 7 Results of two shadow detection methods when the car is gray

测试表明,本文算法执行时间约 20 ~ 30 ms/帧,不影响监控系统的实时运行。

色信息结合起来检测阴影,并同时保证算法的实时性。

7 结 论

分析并指出了彩色不变量应用于高速公路交通视频流图像阴影检测的局限性,依据反射系数随波长的变化关系提出了一种基于恒定色彩变化量比例的自适应阴影检测方法。该方法已经在江苏省交通厅项目《基于图像处理技术的高速公路交通异常情况告警系统研究》中应用。有效的阴影检测和消除结果为系统中下一步的车速检测、流量统计、人车区分等提供了良好的操作依据。

由于单纯利用色彩信息的阴影检测算法对于灰、黑等颜色与路面相近的车辆检测结果不够理想,因此,进一步的研究目标将是如何把纹理信息和颜

参考文献 (References)

- 1 Leone A, Distanto C, Buccolieri F. A texture-based approach for shadow detection [A]. In: Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance [C], Miami, Florida, USA, 2003:371-376.
- 2 Jacques J C S, Jung C R, Musse S R. Background subtraction and shadow detection in grayscale video sequences [A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Graphics and Image Processing [C], Natal, RN, Brazil, 2005:189-196.
- 3 Mikic I, Cosman P, Kogut G, et al. Moving shadow and object detection in traffic scenes [A]. In: Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition [C], Barcelona, Spain, 2000:321-324.
- 4 Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Shadow identification and classification using invariant color models [A]. In: Proceedings of IEEE Signal Processing Society International Conference on

- Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP-2001) [C], Salt Lake City(Utah-USA), 2001: 1545-1548.
- 5 Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, *et al.* Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information [A]. In: Proceedings of the Intelligent Transportation Systems Conference [C], Oakland, USA, 2001: 334-339.
- 6 Liu Hong, Li Jin-tao, Liu Qun, *et al.* Moving cast shadow elimination based on color and gradient features [J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2007, **19**(10):1281-1285. [刘宏, 李锦涛, 刘群等. 融合颜色和梯度特征的运动阴影消除方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, **19**(10): 1281-1285.]
- 7 Pan Xiang. Moving shadow detection based on color information and edge features [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 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(工学版), 2004, **38**(4):389-391.]
- 8 Zhang Li, Li Zhi-neng. Adaptive HSV color background modeling for real-time vehicle tracking with shadow detection in traffic surveillance [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, **8**(7):778-782. [张丽, 李志能. 基于阴影检测的 HSV 空间自适应背景模型的车辆追踪检测 [J]. 中国图象图形学报 A 版, 2003, **8**(7):778-782.]
- 9 Harville M. A framework for high-level feedback to adaptive per-pixel mixture-of-gaussian background models [A]. In: Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision [C], London, UK, 2002:543-560.
- 10 Geusebroek J M, Smeulders A W M, Boomgaard R. Measurement of color invariants [A]. In: Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Hilton Head Island, South Carolina, USA, 2000:50-57.
- 11 Geverst, Smeulders A W M. Colour based object recognition [J]. Pattern Recognition, 1999, **32**(3):453-464.
- 12 Guo Jian-hong, Tian Qing-jiu, Wu Yun-zhao. Study on multispectral detecting shadow areas and a theoretical model of removing shadows from remote sensing image [J]. Journal of Remote Sensing, 2006, **10**(2):151-159. [郭建宏, 田庆久, 吴昀昭. 遥感影像阴影多波段检测与去除理论模型研究 [J]. 遥感学报, 2006, **10**(2): 151-159.]
- 13 Skarbek W, Koschan A. Colour Image Segmentation—A Survey [R]. TR10587, Berlin, Germany: Technical University of Berlin, 1994.