

# 基于光照无关图的阴影去除方法

刘富强 李洲晖

(宽带无线通信与多媒体实验室, 同济大学信息与通信工程系, 上海 201804)

**摘要** 为了在检测目标时排除阴影的干扰, 首先论述了光照无关图的原理及其重要性, 然后在此基础上提出了一种基于光照无关图的阴影去除方法。该方法根据光学成像原理通过对图像进行变换来得到一幅与光照无关的灰度图, 以达到去除阴影的目的。同时针对该方法需事先测定摄像机的光照无关角的不便之处, 还提出了基于直方图统计的摄像机光照无关角判定法则。通过对大量不同场景下视频监控图像的实际测试结果表明, 基于光照无关图的阴影去除方法以及基于直方图统计的光照无关角判定方法, 可以有效去除目标阴影, 并可准确分割目标。

**关键词** 光照无关图 光照无关角 直方图统计 阴影去除

**中图分类号**: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)10-1837-04

## Shadow Removal Method Based on Illuminant Invariance Image

LIU Fu-qiang, LI Zhou-hui

(Broadband Wireless Communication & Multimedia Laboratory, Department of Information & Communication Engineering, Tongji University, Shanghai 201804)

**Abstract** To get rid of the interference of shadows when detecting objects, we discussed the theory of illuminant invariance image and its important property first. Based on this theory, a method for removing the casting shadows of objects was proposed. According to optical imaging theory, this method transforms a color image to an illuminant invariance gray-scale image and removes the shadows. To obtain the illuminant invariance image, a camera-dependent illuminant invariance angle should be measured first. Aiming at solving this inconvenient, a histogram-based rule for deciding the illuminant invariance angle was proposed also. A number of experiments results upon different scenes demonstrated that, the proposed method is able to remove the casting shadows effectively and segment the objects accurately.

**Keywords** illuminant invariance image, illuminant invariance angle, histogram statistic, shadow removal

## 1 引言

众所周知, 一个有效的视频监控系统需要能够准确地分割与跟踪场景中的运动目标, 而目标产生的阴影却给这种准确性带来了很大影响。目前已有许多文献提出了不少去除阴影的方法, 文献[1], [2]通过考察阴影和目标对HSV彩色空间中各分量的不同影响, 利用阴影区域亮度变化明显, 且色度与饱和度变化不明显的特点来区分运动物体和阴影; 文献[3]利用归一化的rgb模型对局部光场不敏感

的特性来去除阴影点。但这两种方法均对阈值设定有一定要求, 且容易受到环境光照变化的影响, 尤其是天气变化的影响。文献[4]定义了6种不同的光照方向, 并为车辆和阴影建立了6种不同的2维模型, 在通过计算获得光照方向后, 再通过2维模型得到阴影的形状和位置, 其不足的是, 一旦多个目标由于阴影连成一体时, 则该方法不能将目标区分开来。文献[5]通过将运动目标区域的边缘信息和对应背景区域的边缘信息做差分来提取出目标的边缘信息, 但该方法只对运动目标具有丰富边缘信息的情况适用, 因为当阴影区域存在边缘信息时, 也会对其

收稿日期: 2007-05-29; 改回日期: 2007-07-17

第一作者简介: 刘富强(1965 - ), 男, 博士研究生导师, 博士后, 中国图象图形学学会常务理事, 中国计算机学会多媒体专业委员会常务委员。主要研究方向为数字图像处理、多媒体信息处理。E-mail: binggan194@yahoo.com.cn

产生干扰。

本文先对背景与前景图分别进行处理以得到“光照无关图”，再通过差分运算和阈值分割来检测出无阴影的准确目标区域。

## 2 光照无关图<sup>[6]</sup>

由于物体遮挡所产生的阴影区域，只受到由天空与环境漫反射所产生的光照射，而非阴影区域则除此之外还受到阳光直射，因此，阴影区域所受到的光照颜色与亮度均产生变化。但在一幅光照无关图中，由于各像素点的灰度值只与摄像机特性以及所摄物体的表面反射特征有关，而与物体所受到的光照颜色与亮度均无关系，因此对于阴影区域及其在背景中对应的非阴影区域，在光照无关图中具有同样的灰度值。

获取光照无关图需要以下 3 个限制条件：(1) 所处理图像中的物体表面满足朗伯模型<sup>[7]</sup>（主要是不考虑镜面反射）；(2) 光照条件为普朗克光源<sup>[8]</sup>；(3) 摄像机具有较为理想的窄带响应。对于朗伯模型，一幅图像中每个像素点的 RGB 分量，由下式决定：

$$\rho_k = \sigma \int E(\lambda) S(\lambda) Q_k(\lambda) d\lambda \quad k = R, G, B \quad (1)$$

其中， $\rho_k$  分别对应像素点的 R, G, B 值， $E(\lambda)$  为光照的谱功率分布， $S(\lambda)$  是物体的表面反射函数、 $Q_k(\lambda)$  是摄像机对于 R, G, B 各分量的频率灵敏度函数， $\sigma$  是朗伯投影项，其为一个常数。由于摄像机具有较为理想的窄带响应，因此可以假设  $Q_k(\lambda)$  是狄拉克 delta 函数，也即  $Q_k(\lambda) = q_k \delta(\lambda - \lambda_k)$ ，那么式(1)就可表示为

$$\rho_k = \sigma E(\lambda_k) S(\lambda_k) q_k \quad (2)$$

在普朗克光源条件下，若对普朗克定理进行维恩近似，即将式(2)中光照的谱功率分布  $E(\lambda)$  替换为

$$E(\lambda, T) \approx I c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

其中， $c_1, c_2$  为常数， $I$  为光源的亮度，色温  $T$  表征光源的颜色，则可得到

$$\rho_k = \sigma I c_1 \lambda_k^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_k T}} S(\lambda_k) q_k \quad (3)$$

2 维波段比向量  $\chi$  定义为

$$\chi_j = \frac{\rho_j}{\rho_p} \quad k \in \{R, G, B\}, k \neq p, j = 1, 2 \quad (4)$$

式中，如以蓝色分量为分母，则  $\chi_1 = \rho_R / \rho_B, \chi_2 = \rho_G / \rho_B$ 。综合式(3)与式(4)可得

$$\chi_j = \frac{\lambda_k^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_k T}} S(\lambda_k) q_k}{\lambda_p^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_p T}} S(\lambda_p) q_p} \quad (5)$$

式中，波段比向量  $\chi$  已经消去了光源亮度  $I$  和朗伯投影项  $\sigma$  的影响。若对  $\chi$  求对数，则可得

$$\hat{\chi}_j = \log \chi_j = \log \left( \frac{s_k}{s_p} \right) + \frac{1}{T} (e_k - e_p) \quad j = 1, 2 \quad (6)$$

式(6)中， $s_k = \lambda_k^{-5} S(\lambda_k) q_k, e_k = -c_2 / \lambda_k$ 。若写成向量形式，则最终得到

$$\hat{\chi} = s + \frac{1}{T} e \quad (7)$$

在式(7)中， $\hat{\chi}, s$  和  $e$  均为 2 维向量。 $s$  与物体的表面反射特性和摄像机的频率灵敏度函数有关，而与光照条件无关。 $e$  只与摄像机的频率灵敏度函数有关，而与物体的表面反射特性和光照条件无关。对于图像中的某一种物体表面，在不同的光照条件下，向量  $s$  和  $e$  的取值均相同，只是色温  $T$  有不同的值。在直角坐标系中，其表现为与向量  $\hat{\chi}$  所对应的点沿  $e$  方向偏移，且位于一条与  $e$  平行的直线上。若将这些不同的向量  $\hat{\chi}$  往  $e^\perp$ （不失一般性，设  $e^\perp$  为单位向量）方向投影，则可得到一个固定的标量值，由于该标量只与摄像机特性和物体的表面反射特性有关，因此同一物体表面可投影得到同一标量值（如图 1 所示）。

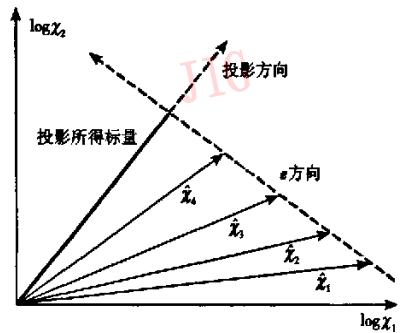


图 1 不同的  $\hat{\chi}$  投影得到同一标量

Fig. 1 The same scalar quantity resulted from different  $\hat{\chi}$

若对全图进行如上处理，则可得到一幅与光照无关的灰度图，即

$$G = \exp(\hat{\chi} \cdot e^\perp) \quad (8)$$

$G$  称为光照无关图，其中  $e^\perp = (\cos\theta, \sin\theta)$ ， $\theta$  称为光照无关角。

以上为了讨论方便，在定义波段比向量时使用了 RGB 分量中的任意一分量作为分母，另两个作为

分子,并求对数,得到 2 维对数波段比向量  $\hat{\chi}$ 。而在实际操作中,则采用 RGB 分量的几何平均值  $\bar{\rho} = \sqrt[3]{RGB}$  作为分母,并得到 3 维的对数波段比向量  $\hat{\gamma}$ ,且易知,  $\hat{\gamma}$  位于与向量  $t = (1, 1, 1)$  垂直的平面  $P$  上,在平面  $P$  上同样随光照变化沿某一 3 维向量  $f$  方向偏移。定义以下  $2 \times 3$  矩阵

$$U = \begin{bmatrix} -1/\sqrt{3} & (1 + \sqrt{3})/2\sqrt{3} & (1 - \sqrt{3})/2\sqrt{3} \\ -1/\sqrt{3} & (1 - \sqrt{3})/2\sqrt{3} & (1 + \sqrt{3})/2\sqrt{3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

且有

$$\hat{\chi} = U\hat{\gamma}, e = Uf \quad (10)$$

式(10)中,矩阵  $U$  用于将 3 维向量  $\hat{\gamma}$  和  $f$  转换至 2 维平面  $P$  上,即可得到 2 维向量  $\hat{\chi}$  和  $e$ ,为便于与前述讨论一致,在 2 维空间求取光照无关角,并获得光照无关图。

### 3 基于光照无关图的阴影移除方法

#### 3.1 基本思想

若将当前帧与背景帧做差分运算,并进行阈值分割,则虽可以检测出运动目标,但也会误检出目标的阴影。根据前述原理,可以先分别提取前景与背景的光照无关图,再对其做差分运算。对于运动目标的阴影区域,其前景图和背景图在光照无关图中有相同灰度值,即差分值很小;对于目标区域,由于物体和背景的表面反射特性不同,在光照无关图中有不同的灰度值,差分值较大,因此阈值分割后,可以得到无阴影的准确目标区域。

获取准确的光照无关图需要以下 3 个前提条件:

- (1) 所处理的图像是基于朗伯模型的;
  - (2) 光照条件为普朗克光源;
  - (3) 摄像机具有较为理想的窄带响应。
- 在实际情况中,由于  $Q_i(\lambda)$  必定不是狄拉克 delta 函数,普朗克光照也不一定满足,因此  $\hat{\chi}$  只处在近似的直线上,获取的  $\theta$  也有一定偏差,也就是说,在某些情况下,光照无关图不是完全无阴影。但在差分图中,由于目标区域的灰度值比阴影区域的灰度值大得多,因此阈值分割后仍能很好地去除阴影。

获取光照无关图需要知道投影角度  $\theta$ ,也即  $e^+$  方向。要获得  $\theta$  值,可先通过实际测试来选取不同种的物体表面;然后施加不同光照,摄得若干幅图像;最后观察同一物体表面在不同光照下所得向量  $\hat{\chi}$  的偏移方向,就可以得到  $\theta$  值。

#### 3.2 直方图统计法获取 $\theta$

光照无关图去除阴影的方法需要事先测量得到投影角度  $\theta$ ,而且不同的摄像机具有不同的  $\theta$ ,这种反复测量给算法的实际操作带来很大不便。下面介绍一种无需测量,只需对实际监控录像中的一帧有影图像进行分析,即可准确求取  $\theta$  值的方法。

一幅有影图像的向量  $\hat{\chi}$  在直角坐标系中表现为一系列近似的平行线(假设有 20 种不同的表面,那么就有 20 条平行线)。如果将这些向量  $\hat{\chi}$  往  $\theta$  方向投影,则所得标量将密集在 20 个值附近,在直方图上表现为 20 个统计高峰。如果往其他方向投影,则灰度分布将相对分散(如图 2 所示)。

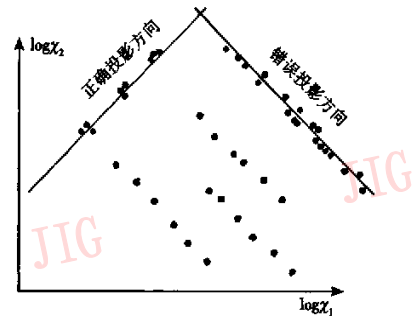


图 2 沿不同方向投影  $\hat{\chi}$  所得结果  
Fig. 2 Result of projecting  $\hat{\chi}$  along different direction

可以引入“熵”的概念来描述灰度值的分布情况。在信息学领域,“熵”是度量信息传输中平均信息量的一个重要指标,其计算式为

$$\eta = - \sum_i p_i \log_2 p_i \quad (11)$$

$p_i$  表示信号  $i$  出现的概率,  $\eta$  为所有信号的平均信息量,称为“熵”。若各信号出现的概率越平均,则“熵”越大;反之,如果某些信号出现的概率很大,而其他的概率很小,则“熵”越小。因此,若沿  $\theta$  方向投影,则灰度值分布集中,熵小;否则灰度值分布分散,熵大。

直方图统计法获取  $\theta$  的方法可以描述如下: (1) 通过遍历  $0^\circ$  到  $180^\circ$  各个角度来得到各角度投影后的灰度图; (2) 对于各灰度图,将其灰度范围划分为若干个单元(本文为 128),并统计各单元出现的像素数和比率; (3) 据式(11)计算“熵”,熵最小时对应的投影角度即为  $\theta$ 。

图 3 显示了用 NIKON COOLPIX8700 相机所摄图片沿各个方向投影所得熵值的变化过程以及根据最小熵准则求得  $\theta$ , 并进行目标分割的效果。

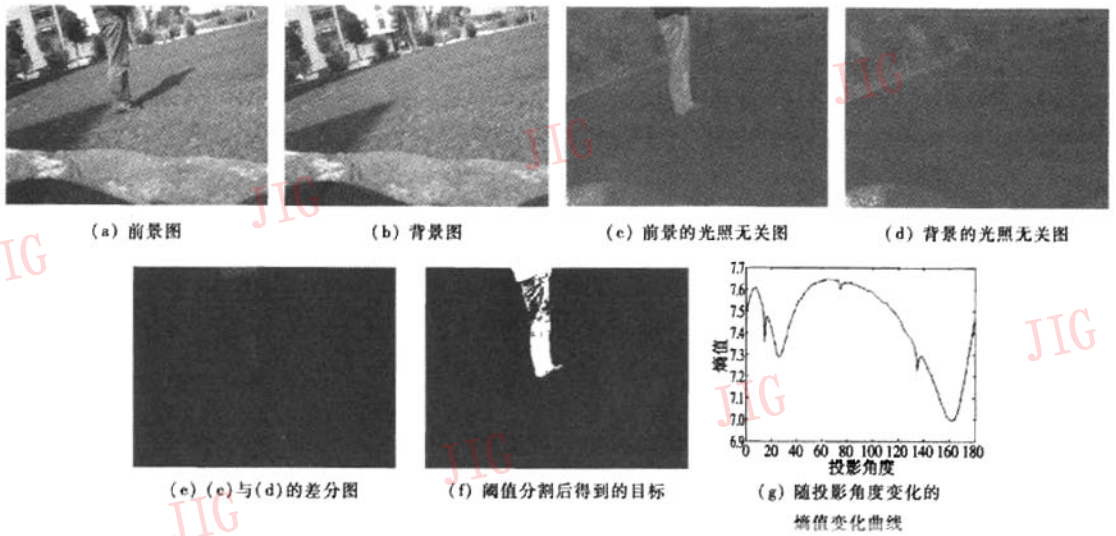


图 3 NIKON COOLPIX8700 基于光照无关图和最小熵准则的阴影去除效果

Fig. 3 NIKON COOLPIX8700, shadow removal result based on illuminant invariance image and entropy minimization

由图 3(g)可知,NIKON COOLPIX8700 的投影灰度图在  $162^\circ$ 角处获得最小熵,其也是优良的全局极小值。由图 3 可以看到,根据最小熵原则获得的投影角,能够有效地去除阴影和检测到目标。实际测试也表明,根据最小熵原则获得的投影角与实际测量得到的光照无关角,其相差范围在  $\pm 10^\circ$ 以内,完全可以满足实际需求。

## 4 结 论

本文提出了一种基于光照无关性理论的阴影去除方法,并进一步提出了基于直方图统计和最小熵准则的投影角度计算方法,以改善算法的实用性。实际测试表明,该方法不仅可以获得较为理想的投影角度值,并能有效去除阴影和检测到目标。算法无需阈值,而且可适应不同的监控场景和环境光照条件。

### 参考文献 (References)

- 1 Cucchiara Rita, Grana Costantino, Piccardi Massimo, *et al.* Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1337 ~ 1342.
- 2 Cucchiara Rita, Grana Costantino, Piccardi Massimo, *et al.* Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information[A]. In: Proceedings of the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems[C], Oakland, CA, USA, 2001: 334 ~ 339.
- 3 Cavallaro A, Salvador E, Ebrahimi T. Shadow-aware object-based video processing[J]. IEE Proceedings-Vision Image Signal Process, 2005, 152(4): 398 ~ 406.
- 4 Yoneyama Akio, Yeh Chia H, Jay Kuo C C. Moving cast shadow elimination for robust vehicle extraction based on 2D joint vehicle/shadow models[A]. In: Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance[C], Miami, FL, USA, 2003.
- 5 Wang J M, Chung Y C, Chang C L, *et al.* Shadow detection and removal for traffic images[A]. In: Proceedings of the IEEE Conference on Networking, Sensing & Control[C], Taipei, Taiwan, China, 2004: 649 ~ 654.
- 6 Finlayson G, Hordley S. Color constancy at a pixel[J]. Journal of the Optical Society of America, 2001, 28(2): 253 ~ 264.
- 7 Horn B K. Robot Vision[M]. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1986.
- 8 Wyzecki G, Stiles W. Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulas second ed. [M]. New York, USA: Wiley, 1982.