

文章编号:1001-9081(2006)08-1879-03

基于归一化 rgb 彩色模型的运动阴影检测

陈柏生,陈锻生

(华侨大学 计算机科学与技术系,福建 泉州 362021)

(samchen@hqu.edu.cn)

摘要:提出了一种基于归一化 rgb 空间的运动阴影检测方法。首先推导了 rgb 彩色模型的光度测定不变性和它的相关重要性质;结合阴影区域在亮度和颜色上的特征,在 rgb 空间分割出候选阴影区域,利用区域的空间关系检测出真实的阴影。对大量不同光照条件和不同阴影投射表面的运动人视频的测试表明,该方法具有良好的适应性和鲁棒性。

关键词:背景差分;rgb 彩色模型;阴影消除

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Normalized rgb color model based shadow detection

CHEN Bai-sheng, CHEN Duan-sheng

(Department of Computer Science, Huaqiao University, Quanzhou Fujian 362011, China)

Abstract: A shadow detection scheme based on normalized rgb color model was proposed. Firstly, the photometric invariance of rgb color model was studied and some of its important properties were deduced. Combining the cues of moving cast shadow on brightness and chromaticity successively, this proposed shadow detection algorithm detected candidate shadow regions in rgb color space; then, a post-processing by exploiting region-based geometry information was employed to exclude pseudo shadow segments. Results were presented for several video sequences representing a variety of illumination conditions and ground materials when the shadows were cast on different surface types. These results show that this approach is robust to widely different background and illuminations.

Key words: background subtraction; rgb color model; shadow detection

0 引言

运动物体产生的阴影给运动物体的准确检测带来了很大的困难。它可能与被检测的目标相连,也可能与目标分离。在前者情况下,影子扭曲了目标的形状,从而使得以后基于形状的识别方法不再可靠;在后者情况下,影子有可能被误认为场景中一个完全错误的目标。目前已有不少的文献对阴影问题进行了研究,这些处理方法主要可以分为基于模型的和基于阴影特征的两种。

基于模型的方法假设目标的三维形状和光源已知,阴影的形状和位置就可以通过模型精确地计算出来。这种方法存在两个很大的局限性:1)对一些具有简单几何形状的刚性物体建立模型是可以的,而对形状复杂的物体,尤其是柔性物体的建模十分困难;2)动态场景中,光源和物体三维形状的先验知识很难获得。因此,基于模型的方法只是在某些比较简单的特定场合被使用,比如航拍图像处理^[1],车辆监控^[2]等。

基于阴影特征的方法是利用阴影区域的几何、颜色和亮度特征来检测阴影,它比基于模型的方法具有更广泛的适用性。例如,文献[3]结合颜色和几何信息分割运动阴影。文献[4]利用阴影区域相对背景区域亮度降低,而颜色值并无显著变化的特征,在 HSV 彩色空间检测阴影。文献[5]根据相邻像素点反照率比值具有时空一致性的特征对真实阴影区域和似阴影区域进行细致分割;然后将这些分割后的区域与手工分割的真实场景中的阴影块进行匹配来确认真实阴影。

该方法能获得细致的阴影检测结果,但是计算十分复杂,处理速度只有 0.25fps,很难满足实时性要求。

本文提出的阴影处理方法属于基于阴影特征的方法。该方法利用阴影点与对应背景点的亮度比值成线性,阴影区域与对应背景区域颜色具有一致性的特征,在具有光学测度不变性的归一化 rgb 彩色空间检测阴影;根据区域空间关系排除伪阴影区域,以获得更准确的分割结果。

1 rgb 彩色模型

首先,我们给出归一化 rgb 彩色模型的定义。颜色从 RGB 空间向 rgb 空间的转换由下式给出:

$$\begin{cases} r = \frac{R}{R+G+B} \\ g = \frac{G}{R+G+B} \\ b = \frac{B}{R+G+B} \end{cases} \quad (1)$$

上式中, $r+g+b=1$ 。给定成像设备的光学传感器对 R、G、B 的感光系数分别为 $f_r(\lambda)$ 、 $f_g(\lambda)$ 和 $f_b(\lambda)$,入射光源用 $e(\lambda)$ 表示,则由文献[6]定义可知,传感器的 R、G、B 响应为:

$$C = m_b(n,s) \int_{\lambda} f_c(\lambda) e(\lambda) c_b(\lambda) d\lambda + m_s(n,s,v) \int_{\lambda} f_c(\lambda) e(\lambda) C_s(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

式(2)中, $C = \{R, G, B\}$ 是传感器的 R、G、B 响应; $c_b(\lambda)$ 和 $C_s(\lambda)$ 分别是物体表面的反照率和非涅耳反射率, λ 是入射

收稿日期:2006-02-23;修订日期:2006-05-09

作者简介:陈柏生(1980-),男,湖南永州人,助教,硕士,主要研究方向:图像处理与模式识别;陈锻生(1959-),男,福建泉州人,教授,博士,主要研究方向:图像处理与模式识别、多媒体网络数据库。

光源的波长; m_b 和 m_s 分别是与物体表面的几何特征相关的系数, n 代表表面的法线, s 光源的入射方向, v 代表传感器的光摄入方向。

考虑到 NIR 模型中可以认为菲涅耳反射率 c_s 是不依赖于波长 λ 的常数, 当入射光源为白光, 则有 $e(\lambda) = e$ 和 $c_s(\lambda) = c_s$, 式(2) 可以写成:

$$C_w = em_b(n, s)k_c + em_s(n, s, v)c_s \int_{\lambda} f_c(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

式(3) 中, $C_w = \{R_w, G_w, B_w\}$ 是光传感器在白光入射下的 R、G、B 响应, $k_c = \int_{\lambda} f_c(\lambda)c_b(\lambda) d\lambda$ 只与光传感器和物体表面的反照率有关。在连续白光照射的条件下, 还有: $\int_{\lambda} f_R d\lambda =$

$$\int_{\lambda} f_c(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda} f_b(\lambda) d\lambda = f, \text{ 故式(3) 可以写成:}$$

$$C_w = C_b + C_s = em_b(n, s)k_c + em_s(n, s, v)cf \quad (4)$$

由公式(4) 可知 $C_b = em_b(n, s)k_c$, 以 r 分量为例有:

$$r(R_b, G_b, B_b) = \frac{em_b(n, s)k_g}{em_b(n, s)(k_R + k_C + k_B)} = \frac{k_R}{K_R + k_C + k_B} \quad (5)$$

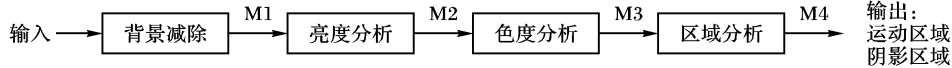


图1 运动阴影分割流程

2.2 背景差分

本文使用背景差分方法来提取场景中的运动区域, 其中包括运动物体、阴影和显著噪声区域。背景使用混合高斯模型建模: $P(x) = \sum_{i=1}^k W_i \times \eta(x, \mu_i, \Sigma_i)$, 其中, $x = \{R, G, B\}$, $P(x)$ 是像素值 x 的统计概率; η 是高斯函数, 对于第 i 个混合高斯分量, μ_i, Σ_i 和 W_i 分别是其特征量——平均值、标准偏差和加权值。背景差分操作依照下式执行:

$$F(x) = \begin{cases} 1 & |I(x) - B(x)| \geq 2 * \sigma(x) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

其中, $I(x)$ 是当前输入图像, $B(x)$ 是当前背景图像; $\sigma(x)$ 是背景偏差的平均值, 按下式计算:

$$\sigma(x, i) = \max(\sigma_{\min}, \alpha |I(x, i) - B(x)| + (1 - \alpha) \sigma(x, i - 1)) \quad (7)$$

式(7) 中, 引入最小背景偏差均值 σ_{\min} 是为了防止输入图像较长时间维持为背景而导致背景偏差均值变得很低; α 是学习速率。

2.3 阴影检测

阴影检测是针对背景差分提取的运动区域进行的, 依次由三个步骤完成: 背景与阴影亮度比值分析, 颜色一致性分析和区域空间特征分析, 后一步骤的操作都是基于前一步骤的检测结果进行的。

步骤1: 亮度比值分析。对任意点 p , 用 $div(p)$ 表示背景图像中点 p 的亮度值与当前输入图像中点 p 的亮度值的比值; 令 $M1$ 是背景差分提取出的前景区域, $M2 = \emptyset$, 则:

$$\forall p \in M1 \text{ if } (\alpha < div(p) < \beta) \Rightarrow M2 = M2 \cup p \quad (8)$$

其中, α 和 β 是背景点与对应阴影点的亮度比值的上下界限值, $M2$ 是比值分析检测出的阴影。需要说明一点的是, 在进行亮度比值分析的具体实现时, 我们将比值 $div(p)$ 乘以一个系数。这样使算法更易于实现, 而且相应的扩大了比值的尺

度, 使得进一步的阈值化操作更加准确可靠。

步骤2: 颜色一致性分析。对于任意点 $p(x), x \in (r, g, b)$ 表示对应背景点的值, $x \in (r', g', b')$ 表示当前输入图像点的值。计算 rgb 各颜色分量的一致性如下:

2 基于 rgb 颜色模型的阴影检测

2.1 算法流程

本文提出的运动阴影检测算法的流程如图1所示。首先进行背景差分, 将运动区域(包括运动物体、阴影和显著噪声区域)从场景中提取出来; 然后对运动区域分析, 检测出运动阴影。具体的阴影检测依次分为三个步骤: 背景与阴影亮度比值分析, 颜色一致性分析和区域空间特征分析。亮度比值分析和颜色一致性分析将分割出候选阴影区域, 其中有一些与运动阴影十分相似的区域也被分割出来; 这些伪阴影区域在区域空间特征分析的处理中被排除掉。

度, 使得进一步的阈值化操作更加准确可靠。

步骤2: 颜色一致性分析。对于任意点 $p(x), x \in (r, g, b)$ 表示对应背景点的值, $x \in (r', g', b')$ 表示当前输入图像点的值。计算 rgb 各颜色分量的一致性如下:

$$\begin{cases} \alpha = 1 - \frac{|r - r'|}{r + r'} \\ \beta = 1 - \frac{|g - g'|}{g + g'} \\ \gamma = 1 - \frac{|b - b'|}{b + b'} \end{cases} \quad (9)$$

则点的颜色一致性 $H(r, g, b) = \alpha * \beta * \gamma$ 。令 $M3 = \emptyset$, 利用颜色一致性检测阴影如下所示:

$$\forall p \in M2 \text{ if } (H > H_T) M3 = M3 \cup p \quad (10)$$

其中, H_T 是颜色一致性的阈值, $M3$ 是颜色一致性分析检测出的阴影点集合。颜色一致性分析去掉了步骤1中产生的大部分伪阴影点, 但是仍有一些与阴影特征极其相似的区域没有被排除, 这些伪阴影区域将通过区域空间特征分析去除。

步骤3: 区域空间特征分析。经过前述步骤1和步骤2, 我们分割出了一致性的阴影区域, 此时的分割结果具有一个重要的空间特征: 阴影区域与已检测出的目标区域邻接边界的长度相对阴影区域的周长要小得多, 甚至不存在邻接边界。用 $\{R(i)\}$ 表示经过步骤1和步骤2分割出的候选阴影区域; 用 $\{C(i)\}$ 和 $\{L(i)\}$ 分别表示对应区域的周长和与已检测出的目标区域邻接边界的长度和, 令 $M_4 = \emptyset$, 则最终检测出的阴影区域表示为:

$$\forall R \in \{R(i)\} \text{ if } \left(\frac{L(i)}{C(i)} < L_T \right) \Rightarrow M_4 = M_4 \cup R \quad (11)$$

L_T 是目标区域邻接边界长与区域周长比值的阈值; 邻接边界长比率小于 L_T 的区域被最终确定为阴影。

3 实验与分析

3.1 实验对象与参数设置

本文试验对象是室外环境中的运动人视频。在视频数据的采集中,主要考虑不同的光照条件、背景和投射表面等因素,具体如下:

- 1) 背景:草地、水泥路面、树木、建筑和操场;
- 2) 投射表面:水平、垂直和斜面;
- 3) 阴影浓淡:浓、中、淡;

4) 阴影大小:粗、中、细、小。

在本文实验中,混合高斯模型的高斯数取为 3;背景差分 and 阴影检测过程涉及参数分别设置为: $\sigma_{\min} = 10, \alpha = 1, \beta = 3, H_T = 0.86, L_T = 0.4$ 。

3.2 实验结果

为了评价本文算法的性能,我们对真实场景中的阴影和前景区域用手工细致的分割,与实验结果进行比较;并进一步计算出阴影检出率、阴影误检率和运动区域检出率,表 1 给出了实验结果数据。

表 1 测试图像的描述及阴影检出率、误检率和运动区域检出率

视频编号	拍摄时间	阴影浓度、大小及投射表面	阴影检出率(%)	阴影误检率(%)	运动区域检出率(%)
Sequence1	7-10-2004; 3:40 p. m.	浓; 中; 大理石路面, 水平	94.3	5.2	92.5
Sequence2	7-10-2004; 8:30 a. m.	中; 中; 水泥路面, 水平	90.5	9.2	93.6
Sequence3	4-6-2002; 5:00 p. m.	淡; 大; 水泥路面, 污秽、杂乱, 水平	87.9	17.2	93.4
Sequence4	7-10-2004; 3:00 p. m.	浓; 小、狭长; 绿草地, 倾斜	93.2	11.4	92.5
Sequence5	7-10-2004; 4:00 p. m.	浓; 大; 大理石墙壁, 垂直	82.5	11.7	94.5
Sequence6	7-10-2004; 1:30 p. m.	浓; 极小; 涂色塑胶球场, 水平	92.1	10.3	96.4

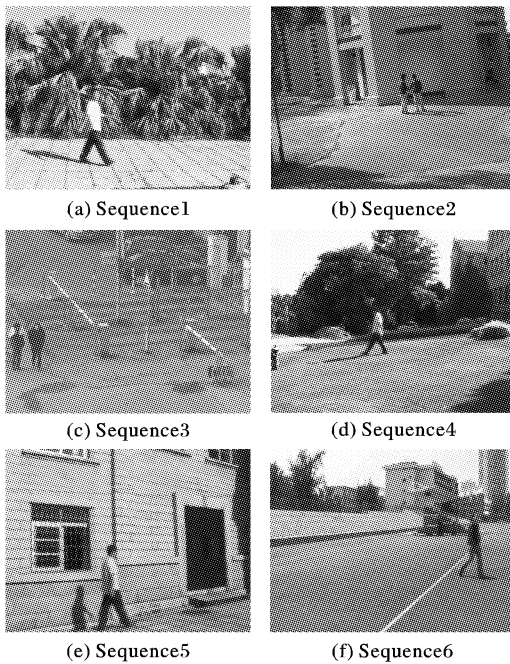


图 2 测试图像序列

图 2(a) ~ (c) 反映的是不同浓度的阴影的测试视频: 在 Sequence1 中, 阴影浓度很大, 但在归一化 rgb 空间处理能获得令人满意的结果, 阴影检出率超过 90%, 而误检率不到 10%; Sequence2 是多运动目标的情况, 从实验结果看, 分离的和重叠的运动阴影都被检测出来了; Sequence3 是在黄昏拍摄的, 前景和背景颜色的对比度较小, 而且场景比较混乱, 因此在亮度比值分析中只除掉了很少的一部分前景点, 而大部分的前景点在随后的颜色一致性分析的处理中被排除。实验结果有较多的背景像素被判为阴影点, 阴影的误检率相对较高。

图 2(d) ~ (f) 的实验对象是投射在不同表面的阴影, 这些表面包括倾斜的草地、花岗石砖的墙壁和涂色混凝土的操场。在 Sequence4 中, 前景与背景亮度和色调的对比度很高, 因此大多数的前景像素在亮度比值分析和颜色一致性分析中被去除; 而 Sequence5 中, 场景比较暗淡, 前景与背景的亮度和色调对比度都较低, 而且存在很大的本影区域, 亮度比值分析处理只去掉了小部分的前景像素, 同时有一些非常暗的阴

影区域被作为前景区域抽取。颜色一致性分析也未能除掉与运动阴影十分相似的本影区域。因此, 有较多的候选阴影区域进入区域特征分析的处理中, 从实验结果看, 绝大多数的伪阴影区域包括本影区域都在区域特征分析中被成功地除掉; Sequence6 的阴影尺寸非常小, 在经过亮度比值分析和颜色一致性分析的处理后, 一些未被去除的前景区域与阴影的子区域大小相近, 甚至更大, 但在实验中仍被有效地检测出来。

4 结语

提出了一种鲁棒的基于归一化 rgb 空间的阴影区域与对应背景区域颜色一致性分析方法; 提出了一种基于区域边界分析的运动阴影后处理方法; 对大量不同光照条件、背景和阴影投射表面的室外运动人视频进行了测试和分析。实验结果表明本文方法能有效地处理各种不同光照条件、背景和投射表面的阴影, 具有良好的适应性和鲁棒性。

参考文献:

- [1] WANG C, HUANG L, ROSENFELD A. Detecting clouds and cloud shadows on aerial photographs [J]. Pattern Recognition Letters, 1991, 12(1): 55-64.
- [2] YONEYAMA A, YEH CH, KUO C-C J. Moving cast shadow elimination for robust vehicle extraction based on 2D joint vehicle/shadow models [A]. Proceedings of IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance [C]. Los Angeles, 2003. 229-236.
- [3] FUNKA-LEA G, BAJCSY R. Combining color and geometry for the active, visual recognition of shadows [A]. Proceedings of Fifth International Conference on Computer Vision [C]. Cambridge, MA, 1995. 203-209.
- [4] CUCCHIARA R, GRANA C, PICCARDI M, 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.
- [5] NADIMI S, BHANU B. Physical models for moving shadow and object detection in video [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(8): 1079-1087.
- [6] SHAFER SA. Using color to separate reflection components [J]. Color research and applications, 1985, 10(4): 210-218.