

# 彩色与纹理不变性的阴影消除新算法\*

郭春风, 何建农

(福州大学 数学与计算机科学学院, 福建 福州 350108)

**摘要:** 针对阴影 C1C2C3 彩色不变性检测法时间开销大的缺陷, 提出了改进的 D1D2D3 模型阴影检测法, 减少了算法的时间复杂度; 针对阴影 LBP 纹理不变性检测法在图像纹理不明显时所存在的误检现象, 提出了改进的 LPTD 算子, 提高了算法的准确率。进一步将上述两种改进方法进行有效融合, 提出了一种阴影消除新算法, 采用 SUSAN 算子去除阴影强边缘, 有效解决了强光给阴影检测带来的误差, 再通过形态学处理, 消除了图像内部孔洞和噪声。实验结果表明, 新算法的阴影消除效果更为理想。

**关键词:** 彩色不变性; 纹理不变性; 阴影消除; SUSAN

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)05-0038-04

## New algorithm to eliminate shadows for the invariance of the color and texture

Guo Chunfeng, He Jiannong

(Mathematics and Computer Science Institute, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** According to defects existing in time complexity in the shadow model of the C1C2C3 which uses invariant color features, a method of D1D2D3 shadow model is proposed, which can reduce the time complexity of the algorithm. According to defects existing in mistake detection in shadow LBP using invariant texture method when the image texture is not evident, the LPTD operator is put forward. And by fusing the two improved methods effectively, a new algorithm to eliminate shadows is proposed, which uses the SUSAN operator to remove the strong edge of shadow and effectively solves the error caused by the strong light in the shadow eliminating. Through the morphological processing, the internal holes and noise of image are eliminated. Experiment results show that the new algorithm is more ideal in the effect of shadow eliminating.

**Key words:** the invariance of the color; the invariance of the texture; shadow eliminate; SUSAN

在计算机智能目标检测与跟踪领域中, 由于光照影响, 阴影与目标有着相同的运动属性和光照强度变化, 常常被误认为运动目标, 造成目标几何尺寸的改变以及多个目标的并连等<sup>[1]</sup>, 因此消除阴影成为一个不可避免的问题。在视频检测过程中, 阴影伴随运动目标对光线的遮挡而产生<sup>[2]</sup>。目前, 国内外已有大量的检测算法用于消除阴影, 主要有颜色特征法和纹理相关法。颜色特征法根据阴影点的颜色属性判别阴影点和目标点。参考文献[3]通过分析阴影覆盖前后 R、G、B 3 个分量的变化建立阴影统计模型, 但无法解决相互遮挡的问题。参考文献[4]采用 HSV 颜色空间提取弱阈值目标, 但具有一定的局限性。参考文献[5]

融合 HSI 和 C1C2C3 模型特点进行阴影去除, 但是准确率不高。纹理相关法依据阴影覆盖前后纹理不变的特性区分阴影和目标, 然而它经常要比较和计算每个像素及其邻域像素的纹理值, 速度缓慢。本文综合考虑了阴影消除算法的时间复杂度和准确率, 提出了基于彩色与纹理不变性的运动阴影消除新算法。

### 1 彩色不变性的阴影检测

#### 1.1 C1C2C3 模型

C1C2C3 空间是所有彩色不变空间检测阴影效果最好的模型<sup>[6]</sup>, 它是根据阴影覆盖前后, 机器视觉系统利用的彩色参数模型仍然维持目标识别的能力<sup>[7]</sup>。C1C2C3 空间模型定义为:

\* 基金项目: 国家自然科学基金(51277032)

$$\begin{aligned} c_1(x,y) &= \arctan\left(\frac{R(x,y)}{\max(G(x,y), B(x,y))}\right) \\ c_2(x,y) &= \arctan\left(\frac{G(x,y)}{\max(B(x,y), R(x,y))}\right) \\ c_3(x,y) &= \arctan\left(\frac{B(x,y)}{\max(R(x,y), G(x,y))}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

### 1.2 基于 C1C2C3 改进的 D1D2D3 模型

鉴于 RGB 空间转为 C1C2C3 空间的时间开销较大,不利于视频的实时性应用,本文在其转换模型基础上进行改进,即:

$$\begin{aligned} d_1(x,y) &= \frac{R(x,y)}{\max(G(x,y), B(x,y))} \\ d_2(x,y) &= \frac{G(x,y)}{\max(B(x,y), R(x,y))} \\ d_3(x,y) &= \frac{B(x,y)}{\max(R(x,y), G(x,y))} \end{aligned} \quad (2)$$

显然,改进之后的 D1D2D3 模型去掉了  $\arctan(\cdot)$  函数,从形式上看更简单易用,减少了算法的时间复杂度。

### 1.3 实验对比结果

分别用 C1C2C3 和 D1D2D3 模型对室外车视频和室内人视频进行阴影消除实验,结果如图 1、图 2 所示,两种算法用时比较如表 1 所示。

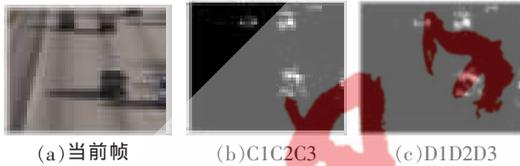


图 1 室外车视频第 4 帧的阴影消除效果图



图 2 室内人视频第 128 帧的阴影消除效果图

表 1 两种阴影消除算法用时比较

实验视频	C1C2C3/s	D1D2D3/s
车视频第 4 帧	0.397 839	0.259 069
人视频第 128 帧	0.213 785	0.165 750

从图 1、图 2 可以看出,采用 C1C2C3 模型消除阴影和采用 D1D2D3 模型消除阴影,实验效果图基本一致,即消除阴影的准确率不变,但是从表 1 两种算法用时对比中可知,采用 D1D2D3 模型消除阴影所耗费的时间少于 C1C2C3 模型,符合前面所述的理论。因此,在综合考虑阴影消除效果(准确率)和时间开销的基础上,本文提出的 D1D2D3 模型优于传统的 C1C2C3 模型。

## 2 纹理不变性的阴影检测

### 2.1 LBP 阴影消除法

LBP 算子是最常用的纹理描述子,具有灰度单调变换和旋转不变性<sup>[8]</sup>,它通过比较掩膜的中心像素值和周

围一定半径的邻域像素值,得到一组二值化的 0、1 编码,并结合权重矩阵计算其 LBP 值。

$$\text{LBP}_{p,r}(x_c, y_c) = \sum_{i=0}^{p-1} 2^i \cdot s(g_i - g_c) \quad (3)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $(x_c, y_c)$  为掩膜中心像素点的坐标,其像素值为  $g_c$ ,其周围邻域半径为  $r$ ,  $p$  为以  $r$  为半径的圆周邻域上的像素个数,  $g_i$  为中心点周围邻域  $p$  个像素点对应的像素值。

### 2.2 基于 LBP 改进的 LPTD 阴影消除法

在 LBP 算子表征图像纹理过程中,它是通过比较中心像素点和周围邻域点大小关系来确定编码值,该方法无法真正反映图像细微纹理差异,易受噪声影响。另外,由于直接以中心点像素值为评判标准,忽略了周围区域像素值的分布情况,无法获取较为准确的纹理描述值,从而导致阴影点的错误检测。为此,本文充分考虑了中心像素点与周围邻域像素点的像素值之间的变化,以中心像素点和周围邻域所有像素点的均值为评判标准,采用各邻域像素点与中心像素点 R、G、B 3 通道值之差的平方和的均值来表征局部像素纹理差异,即 LPTD (Local Pixel Texture Difference)。

$$\begin{aligned} g_{c,r} &= \frac{\sum_{i=0}^{p-1} (g_{c,r} + g_{p,r})}{p+1} & \text{LPTD}_r(x_c, y_c) &= \frac{\sum_{i=0}^{p-1} (g_{i,r} + g_{c,r})^2}{p} \\ g_{c,g} &= \frac{\sum_{i=0}^{p-1} (g_{c,g} + g_{p,g})}{p+1} & \text{LPTD}_g(x_c, y_c) &= \frac{\sum_{i=0}^{p-1} (g_{i,g} + g_{c,g})^2}{p} \\ g_{c,b} &= \frac{\sum_{i=0}^{p-1} (g_{c,b} + g_{p,b})}{p+1} & \text{LPTD}_b(x_c, y_c) &= \frac{\sum_{i=0}^{p-1} (g_{i,b} + g_{c,b})^2}{p} \end{aligned} \quad (5)$$

其中,  $g_{c,r}$ 、 $g_{c,g}$ 、 $g_{c,b}$  分别表示位于  $(x_c, y_c)$  坐标的中心像素点与周围邻域所有像素点  $g_i$  的均值,  $p$  为邻域像素点个数。

### 2.3 实验对比结果

分别采用 LBP 算子和 LPTD 算子对室内人视频和室外车视频进行阴影实验,结果如图 3、图 4 所示,两种算法耗时对比如表 2 所示。

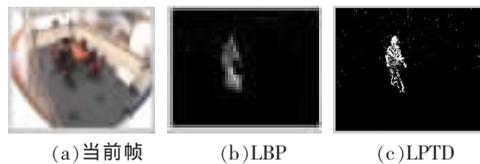


图 3 室内人视频第 270 帧的阴影消除效果图

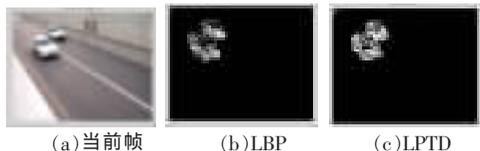


图 4 室外车视频第 70 帧的阴影消除效果图

表 2 两种阴影消除算法用时比较

实验视频	LBP/s	LPTD/s
人视频第 270 帧	0.183 713	0.184 199
车视频第 70 帧	0.194 822	0.195 781

从图 3、图 4 可以看出,采用 LPTD 模型消除阴影的效果显然优于传统的 LBP 算子,LPTD 模型法所检测出的目标边界更清晰,对阴影的误检率更低,克服了 D1D2D3 模型消除阴影的不足。从表 2 两种算法用时对比中可以看出,采用 LPTD 模型消除阴影所耗费的时间与 LBP 基本持平。因此,在综合考虑阴影消除效果(准确率)和时间复杂度的基础上,本文提出的 LPTD 模型优于传统的 LBP 模型。

### 3 本文提出的阴影消除新算法

如前所述,本文提出了两种阴影消除的改进算法,虽然基于彩色特征的 D1D2D3 阴影消除法能较好地保持目标图像的丰富信息,但可能导致边缘细节信息比较丰富的图像部分像素漏检;而基于纹理特征的 LPTD 阴影消除法,虽然能较好地保持图像边缘,但是如果图像部分区域的目标内部与背景纹理差异很小,这些像素点则容易被误认为是阴影点。为了使新算法更通用,对不同图像消除阴影效果更好,进一步提出了集两种算法优势的消除运动影像阴影的新算法,具体流程图如图 5 所示。

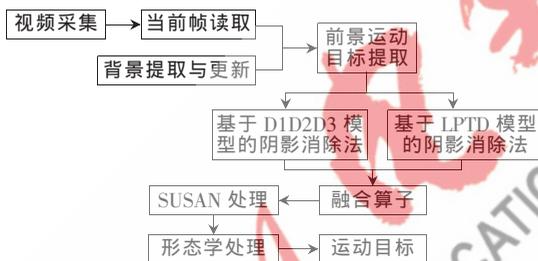


图 5 融合 D1D2D3 与 LPTD 模型的新算法流程

#### 3.1 前景运动目标提取

采集的视频中包含复杂信息,筛选掉视频帧中的无关信息从而提取前景运动目标是本文算法的前提,而背景差法是运动目标提取中最常用的算法,具有简单、容易实现和实时性好等优势。

$$pb(x) = \begin{cases} 1, & |I_f - I_b| \geq T_1 \\ 0, & |I_f - I_b| < T_1 \end{cases} \quad (6)$$

#### 3.2 融合彩色不变性与纹理不变性的方法

本文依次采用改进的 D1D2D3 模型和 LPTD 模型消除阴影,分别得到结果 A 和结果 B,如式(7)、式(8)所示,再用“或”操作对两者进行融合,得到结果 C,如式(9)所示。这样不仅保留了目标图像的丰富信息,而且能较好地保持图像边缘,使得阴影检测准确率提高,漏检率和误检率较低。

$$A(x) = \begin{cases} 1, & (pb=1) \& (|d_1^f - d_1^b| \leq T_1) \\ & \& (|d_2^f - d_2^b| \leq T_1) \& (|d_3^f - d_3^b| \leq T_1) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

$$B(x) = \begin{cases} 1, & (pb=1) \& (|LPTD_g^f - LPTD_g^b| \leq Th_1) \\ & \& (|LPTD_g^f - LPTD_g^b| \leq Th_2) \\ & \& (|LPTD_b^f - LPTD_b^b| \leq Th_3) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

$$C(x) = A(x) \cup B(x) = \begin{cases} 1, & A(x) = 1 \& B(x) = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (9)$$

### 3.3 SUSAN 处理

一般情况下,室外光照较强烈,因此在融合彩色不变性与纹理不变性处理后的对应结果中常常会出现阴影的外边缘,为此,需要进一步用 SUSAN 处理。SUSAN 使用 37 像素的掩模窗口扫描目标图像的每个像素点,计算窗口内与当前像素值近似的像素个数,即核值相似区 USAN (Univalue Segment Assimilating Nucleus),USAN 值越小,表明越靠近边缘点;反之,USAN 值越大则为非边缘点<sup>[9]</sup>。阈值点控制为最大值的一半。SUSAN 处理算法具体过程如下。

(1) 计算模板内像素点与模板核心点的相似度:

$$c(r, r_0) = \exp\left(-\left(\frac{I(r) - I(r_0)}{t}\right)^6\right) \quad (10)$$

(2) 计算 USAN 区域的大小:

$$n(r_0) = \sum_{r \neq r_0} c(r, r_0) \quad (11)$$

(3) 计算边缘初始响应:

$$R(r_0) = \begin{cases} g - n(r_0), & n(r_0) < g \\ 0, & n(r_0) \geq g \end{cases} \quad (12)$$

(4) 去除阴影强边缘:

$$D(x) = \begin{cases} 0, & R(x) = 1 \& B(x) = 1 \\ C(x), & \text{else} \end{cases} \quad (13)$$

### 3.4 形态学处理

经过 SUSAN 处理后的图像检测效果较理想,去除了图像由于强光作用导致的阴影边缘,使得图像检测效果更佳。然而,图像内部仍然存在部分孔洞,因此需要用形态学算子来处理,本文主要采用膨胀和腐蚀算子。

## 4 实验结果

实验采集视频分辨率均为 320×240,依次用室外强光、室外弱光和室内弱光 3 种场景分别演示本文算法的阴影消除过程,室外(强/弱光)场景选取慢速目标人和快速目标车进行仿真实验,室内场景选取慢速目标人进行仿真实验,如图 6 所示,并与 C1C2C3 和 LBP 算法进行实验比较,结果如图 7 所示。

根据实验可知,本文算法(如图 6(h)所示)显然优于 D1D2D3 模型(如图 6(d)所示)和 LPTD 模型(如图 6(e)所示);又从前面第 2 小节可知,D1D2D2 模型优于 C1C2C3 模型,LPTD 模型优于 LBP 模型,由递推关系可知,本文算法优于传统的 C1C2C3 模型和 LBP 模型。

为了定量评判阴影消除的效果,本文引用阴影消除成功率<sup>[10]</sup>进行量化衡量:

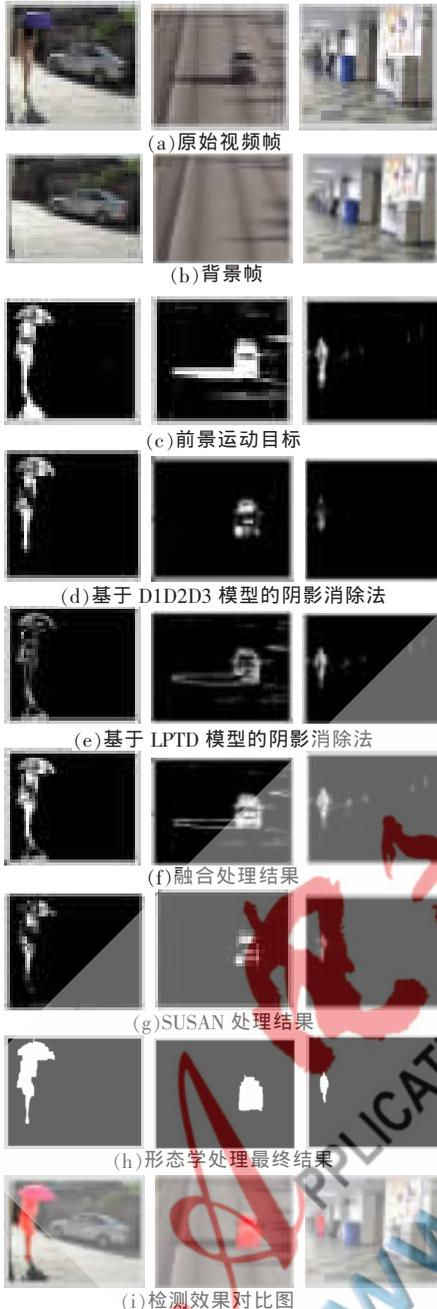


图6 阴影消除过程图

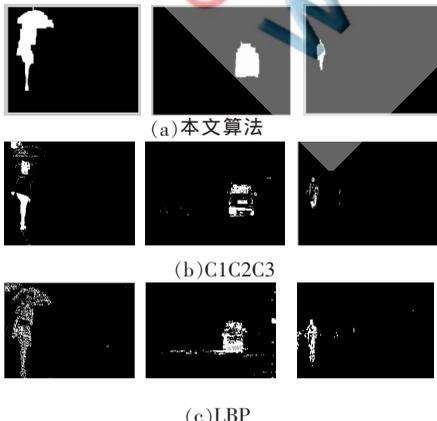


图7 阴影消除效果对比图

$$\eta = \frac{1}{N} \times \frac{D}{S} \times 100\% \quad (14)$$

其中,  $D$  为检测到的前景目标面积,  $S$  为实际目标的面积,  $N$  为视频帧数,  $\eta$  为阴影消除平均成功率。

本文算法与其他算法的阴影消除成功率比较如表 3 所示, 阴影消除用时比较如表 4 所示。

表3 本文算法与其他算法的阴影消除成功率的比较

测试视频场景			阴影消除平均成功率 $\eta/\%$		
视频对象	视频特性	视频帧数	本文算法	C1C2C3	LBP
室外人	强光	80	93.81	85.31	71.86
室外车	弱光	100	90.30	82.47	83.69
室内人	弱光	128	94.72	84.15	80.27

表4 阴影消除算法用时比较

实验视频	本文算法/s	C1C2C3/s	LBP/s
室外人第 80 帧	0.181	0.193	0.182
室外车第 100 帧	0.196	0.207	0.203
室内人第 128 帧	0.194	0.214	0.196

根据实验对比图 7 和表 3 可知, 本文算法能有效消除室外(强/弱光)、室内(弱光)场景下的阴影, 其阴影消除平均成功率高于传统的 C1C2C3 彩色不变模型和 LBP 纹理不变模型, 即本文算法消除阴影的准确率较高; 再由表 4 可知, 本文算法的时间开销低于 C1C2C3 模型和 LBP 模型, 具有较好的实时性。

基于 C1C2C3 空间彩色不变性, 本文提出了改进的 D1D2D3 模型的阴影检测法, 弥补了 C1C2C3 模型在时间复杂度上的缺陷; 基于 LBP 算子纹理不变性, 本文提出了改进的 LPTD 算子, 解决了不明显图像纹理检测时所产生的误检现象; 进一步将以上改进的两种方法以相“或”运算进行有效融合, 并采用 SUSAN 算子去除室外强光导致的阴影强边缘, 有效解决了强光给阴影检测产生的误差, 最后通过形态学处理填补孔洞并消除噪声。实验结果表明, 无论是在室外还是在室内, 本文提出的阴影消除新算法较实用, 准确率较高, 实时性较好, 在视频监控及交通检测等领域具有较高的工程应用价值。

#### 参考文献

- [1] Ren Jianqiang. Novel adaptive algorithm of shadow elimination for video moving objects[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(36): 188-191.
- [2] 黄思明. 交通视频图像中的车辆提取分类方法研究[D]. 福建: 福州大学数学与计算机科学, 2011.
- [3] 杨丹, 余孟泽. 车辆视频检测及阴影去除[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(6): 2072-2074
- [4] 李科伟, 杨晓敏, 何小海, 等. 基于弱阈值分割的运动人体阴影去除[J]. 计算机工程, 2012, 38(5): 173-175.
- [5] Sun Bangyu, Li Shutao. Moving cast shadow detection of vehicle using combined color models [C]. IEEE Chinese Conference on Pattern Recognition(CCPR), 2010: 1-5.

- [6] FORCZMANSKI P, SEWERYN M. Surveillance video stream analysis using adaptive background model and object recognition[J]. Computer Vision and Graphics, Lecture Notes in Computer Science, 2010,6374:114 - 121.
- [7] 周家香,朱建军,张红亚.基于 C1C2C3 彩色不变特征的阴影检测与辐射恢复研究[J].工程勘察,2007(6):52-54.
- [8] 郝灿,朱信忠,赵建民,等.基于改进型 LBP 特征的运动阴影去除算法[J].计算机系统应用,2010,19(5):80-82.
- [9] 钟顺虹,何建农.基于自适应双阈值的 SUSAN 算法[J].计算机工程,2012,38(3):206-208.
- [10] 陈锡,陈喆.亮点、颜色和梯度结合的阴影消除算法[C]. 2010 年通信理论与信号处理学术年会论文集,2010:556-561.

(收稿日期:2012-12-21)

作者简介:

郭春风,女,1988 年生,硕士研究生,主要研究方向:智能图像处理及计算机视觉。

何建农,女,1960 年生,副教授,主要研究方向:智能图像处理及遥感图像处理。

