

灰度序列图像中结合互相关法 与梯度特征的阴影去除算法

梁磊, 刘怀, 梁秦嘉, 董春燕

(南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 在视频监控场景下的目标检测中,运动的阴影会对所检测目标的准确性造成不利影响. 为了去除运动阴影的干扰,提出了一种结合灰度比值的四方向梯度与归一化互相关(NCC)特征的阴影去除算法. 首先在灰度序列图像中计算前景与其对应背景灰度的比值;其次根据阴影区域的相邻像素灰度比值变化改变很小,通过计算灰度比值的四方向梯度均值来判断阴影并加以去除;最后为了避免运动目标被误去除,考虑到运动目标与背景的相关性差异远远大于阴影与背景之间的相关性差异,结合归一化互相关特征来保留目标,以确保运动目标的完整性. 定性和定量的实验结果分析表明,该算法在阴影去除率和保持目标完整性方面优于其他阴影去除算法.

[关键词] 阴影去除,灰度序列图像,灰度比值梯度,归一化互相关

[中图分类号] TP391 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2019)02-0059-09

Shadow Removal Algorithm by Combining Cross-correlation and Gradient Feature in Gray Sequence Images

Liang Lei, Liu Huai, Liang Qinjia, Dong Chunyan

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Moving shadows have adverse effects on the accuracy of the detected target while detecting moving target in video surveillance scene. In order to eliminate the interference of the moving shadows, a shadow removal algorithm is proposed by combining the four-direction gradient of the grayscale ratio and the feature of the normalized cross correlation (NCC) in this paper. Firstly, the grayscale ratio of the foreground pixel to its corresponding background pixel is calculated in gray sequence images. Secondly, because the grayscale ratio among a pixel's neighborhood in shadow region has a small change, the calculated four-direction gradient mean can be applied to detect and remove shadow. Finally, in order to avoid that the moving target is removed as shadow and ensure the integrity of the detected target, the feature of the NCC is employed to keep the integrity of moving target because difference of correlation between the moving target and its corresponding background is much larger than that between shadow and its corresponding background. The qualitative and quantitative analysis of experimental results show that the algorithm presented in this paper is superior to other similar shadow removal algorithms in shadow removal ratio and keeping the integrity of the detected target.

Key words: shadow removal, gray sequence images, gradient of grayscale ratio, normalized cross correlation(NCC)

在对视频序列图像进行运动目标检测时,由于光照条件不同会引起序列图像中像素强度的改变,从而形成阴影区域,使运动目标的检测精度受到影响. 准确完整地去除阴影区域并保持目标的完整性能够大幅度提高检测精度,是视频序列图像中重要的研究方向和课题. 对于阴影检测方法的研究而言,其大致可以分为两类:基于对阴影建立模型的方法和基于阴影固有特征的方法^[1-2].

基于模型的方法主要是针对已知场景和光照状况的条件下利用先验知识及阴影的信息建立阴影模型,如文献[3-4]利用混合高斯模型对阴影建模,得到阴影分布特性,实现阴影的去除;文献[5-6]基于码本模型将阴影像素点进行提取来去除阴影. 但建立阴影模型会导致算法的复杂度高,耗时长,很难具备通

收稿日期:2018-10-19.

基金项目:国家自然科学基金(61603194).

通讯联系人:刘怀,博士,副教授,研究方向:数字图像处理、实时控制系统. E-mail:liuhuai@njnu.edu.cn

用性,也不能满足实时性.

基于阴影固有特征的方法是根据图像中阴影的颜色、光照无关性、边缘和纹理等信息来进行阴影的检测与去除. Qu 等^[7]对阴影的各项特征进行分析,寻找最佳特征,为阴影检测算法提供参考. 文献[8-12]在颜色空间中利用颜色特征从运动区域中区分阴影. Farou 等^[13]将各个不同颜色空间的最好颜色特征进行结合来确定阴影区域. 尽管在不同颜色空间下利用颜色信息来检测阴影方便快捷,然而使用颜色特征一方面造成所需数据量增多,另一方面对于颜色特征不明显的视频图像其处理效果存在明显降低.

当前大部分的阴影检测是基于彩色图像序列且结合颜色特征来确定阴影区域,而基于灰度序列的阴影检测方法却较少. 尽管目前采集的视频多为彩色视频,但由于灰度视频图像简单、数据量少、处理速度快、易于满足实时性图像处理的要求,有很多情况下,彩色视频图像会转换为灰度视频图像进行处理,更为重要的是基于灰度信息的阴影检测方法可以与基于彩色信息的方法相结合来提高阴影检测的准确性. 目前在灰度序列图像的阴影处理中, Russell 等^[14]通过研究光照方向与光照强度来判断阴影并加以去除, Russell 等^[15]也通过纹理特征检测阴影; Ji 等^[16]利用边缘信息来判别阴影; Chen 等^[17]基于梯度特征来检测阴影. 但仅使用单一特征进行阴影检测易造成误检,导致检测准确率降低. 因此针对单个特征检测阴影的不足,一方面如戴璐平等^[18]融合纹理特征与边缘信息来去除阴影, Xu 等^[19]基于光照、纹理和导数特征的不变性来识别阴影;另一方面许多学者通过改进阴影判断阈值来更好地检测阴影,如文献[20-21]加入了自适应阈值方法进一步提高了阴影判定的准确性. 多种特征直接融合以及自适应阈值的方法虽然在一定程度上提高了阴影检测的准确性和稳定性,但由于阴影特征的判定方式本身存在缺陷且自适应方法也有待进一步改进,例如纹理特征有时并不明显或阈值自适应也并非完全正确等问题,因而误检率仍然较高,无法保证不同场景下阴影完全去除的同时保留运动目标的完整性.

综上所述,针对现有灰度序列图像中阴影检测算法的缺陷及阴影去除阈值选择的复杂性,本文在分析阴影区域像素点和与之对应的背景像素点的基础上,结合梯度特征的优势,在计算灰度比值的基础上进一步计算其一阶四方向的梯度,取代单一灰度比值作为阴影检测的依据,同时结合归一化互相关特征来保留运动目标. 此方法克服了单一使用阴影固有特征进行阴影检测时容易出现的误检及目标空洞问题,保证了阴影的准确去除及目标的完整度,从而使运动目标检测更加准确,同时降低了阴影去除过程中阈值参数设置的复杂性.

1 归一化互相关法(NCC)

为了有效检测阴影,需了解阴影生成的机理. 由于不透明的目标物体遮挡了光源而造成某一区域的亮度发生变化,形成了明暗不同的区域,其中的暗区域即为阴影. 与非阴影区域相比,阴影区域的亮度明显较低,同一区域的阴影与其对应的背景纹理结构基本相近. 因此,可以通过计算图像的纹理相似性来检测移动区域的阴影部分与目标部分. 其中,基于互相关法的纹理相似性测量方法被广泛应用于灰度序列视频的阴影检测.

归一化互相关法^[22]是图像匹配算法中比较经典的匹配算法,其可以通过计算前景图像与背景图像之间的互相关度量值来确定二者的匹配程度,度量值的大小反映了前景图像与背景图像之间的相似程度. 前景与背景越相似,其为阴影的可能性越大;反之,其为目标的可能性越大.

设视频图像的大小为 $M \times H$, 令背景灰度图像为 $B(i, j)$, 当前帧灰度图像为 $F(i, j)$. 对于每一个前景像素点,建立一个 $(2N+1) \times (2N+1)$ 的模版 T_{ij} , 其中,

$$T_{ij} = F(i+n, j+m) \quad -N \leq n \leq N, -N \leq m \leq N, \quad (1)$$

可得到如下的互相关公式(2):

$$NCC_1(i, j) = \frac{ER(i, j)}{E_B(i, j) \cdot E_{T_{ij}}(i, j)}, \quad (2)$$

式(2)中,

$$ER(i, j) = \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N B(i+n, j+m) T_{ij}(n, m), \quad (3)$$

$$E_B(i, j) = \sqrt{\sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N B(i+n, j+m)^2}, \quad (4)$$

$$E_{T_{ij}}(i,j) = \sqrt{\sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N T_{ij}(n,m)^2}. \quad (5)$$

为了计算方便,本文采用如下的归一化互相关公式:

$$\text{NCC}(i,j) = \frac{\overline{ER}(i,j)}{\overline{E}_B(i,j) \cdot \overline{E}_{T_{ij}}(i,j)}, \quad (6)$$

则

$$\overline{ER}(i,j) = \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N [B(i+n,j+m) - \bar{B}] \cdot [T_{ij}(n,m) - \bar{T}_{ij}], \quad (7)$$

$$\overline{E}_B(i,j) = \sqrt{\sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N [B(i+n,j+m) - \bar{B}]^2}, \quad (8)$$

$$\overline{E}_{T_{ij}}(i,j) = \sqrt{\sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N [T_{ij}(n,m) - \bar{T}_{ij}]^2}. \quad (9)$$

式(6)中, $\text{NCC}(i,j)$ 表示归一化的相关系数; $\overline{E}_B(i,j)$ 和 $\overline{E}_{T_{ij}}(i,j)$ 分别为背景像素点度量值和待检模板像素点度量值; \bar{B} 和 \bar{T}_{ij} 分别指矩形区域模板 $B(i+n,j+m)$ 和 $T_{ij}(n,m)$ 的均值. 采用式(6)即可将互相关度量值归一化到 $[0,1]$ 区间内,方便检测阴影阈值的选取.

此处认为阴影区域的灰度连续、平坦,即阴影区域是在背景的基础上整体变暗. 因此,阴影区域与其对应的背景区域像素点相关性很强,于是阴影判别公式为:

$$\text{NCC}(i,j) \geq T_1. \quad (10)$$

其中阈值 T_1 的取值很重要,若 T_1 取值过小,则一部分移动目标会被误检为阴影;若 T_1 取值过大,则会导致阴影去除不完全. T_1 阈值的选取将在实验中测得并给出.

2 结合归一化互相关法和梯度特征的阴影去除方法

2.1 灰度阴影特征的分析

为了更好地去除阴影像素点,保留前景目标点,本文选取灰度视频中同一区域在阴影覆盖前后的像素点分析阴影像素点的特征. 如图1所示,选取同一灰度视频序列中的两帧图像,提取标记区域在阴影覆盖前后的像素值,制成图2所示的灰度像素值对比图.



(a) Highway_I 选取的不同视频帧



(b) Hallway选取的不同视频帧

图1 Highway_I 与 Hallway 选取的不同视频帧

Fig. 1 Different video frames selected by Highway_I and Hallway

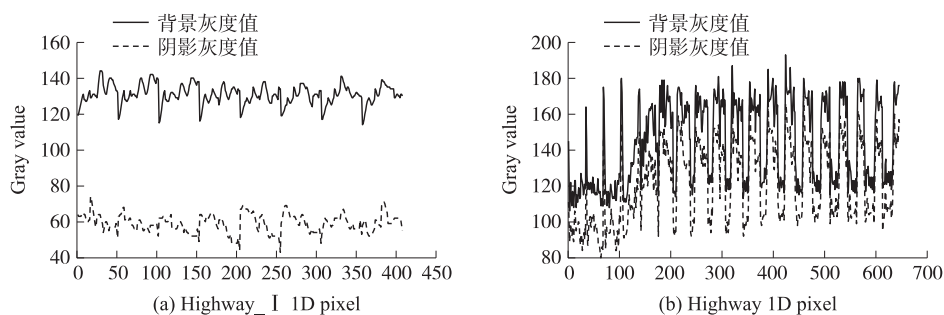


图 2 Highway_I 与 Hallway 背景与阴影灰度像素值对比图

Fig. 2 Comparison of background and shadow gray components of Highway_I and Hallway

分析图 2 可知,阴影部分的灰度值比与之对应的背景区域的值均小,同时发现相邻的灰度值变化范围不大. 由于阴影部分与背景部分同属一个区域,由图 2 可以看出,其像素值变化规律差别很小,因此其纹理结构近似一致.

2.2 阴影去除算法的设计

归一化互相关法去除阴影,只考虑了阴影与其对应背景纹理结构的一致性,并未考虑灰度值大小对阴影检测的影响. 一些学者虽然同时考虑了纹理与灰度值大小对检测阴影的作用,但在对于灰度值的使用上,仅仅考虑单一像素点的灰度值情况,并未结合周围像素点的情况综合检测.

为了更直观地分析阴影去除算法,本文在图 2 基础上求取标记区域内阴影与对应背景的灰度像素比值,如图 3 所示. 由图 3 可知,在 Highway_I 使用阴影灰度值与对应背景灰度值的比值确定阴影时,阈值范围在 0.3~0.6 之间,而大部分阴影比值范围在 0.4~0.55 之间. 若选择阈值范围 0.3~0.6 作为阴影的去除阈值,虽然阴影去除效果很好,但由于阈值范围取值较大,不可避免地会将一些目标点错误判断为阴影区域而去除,造成目标出现空洞;若选择阈值范围在 0.4~0.55 之间,虽然尽可能地保留了目标,却会造成阴影去除不彻底,残留部分阴影区域. 同理,在 Hallway 中也可得到相似结论. 故采用灰度比值去除阴影时,阈值的选择很难确定,且不同的图像选取的阈值不同,以至于阴影去除效果不佳.

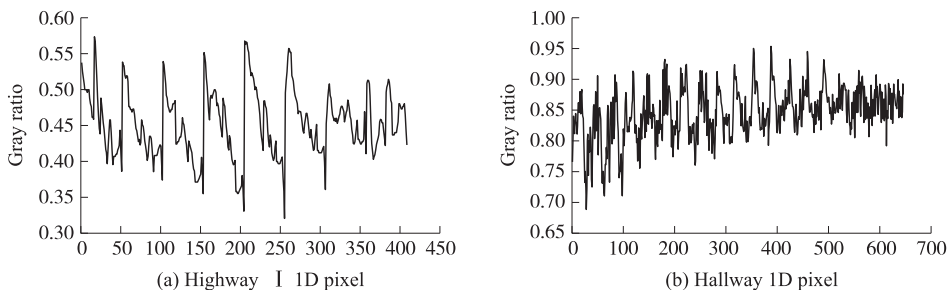


图 3 Highway_I 与 Hallway 阴影与背景区域灰度比值图

Fig. 3 The ratio of gray of the foreground pixel to its corresponding background pixel about Highway_I and Hallway

在光照条件一定的情况下,由于同一视频中阴影区域比其对应的背景区域灰度值小,灰度比值的变化较小,尤其临近像素点的灰度比值变化更小,因此灰度比值的变化率较稳定,相对而言运动目标与其对应背景区域的灰度比值变化率则差异较大. 基于这一特点,本文使用灰度比值相邻像素的梯度算法来检测阴影,其中梯度信息反映了图像灰度比值信息变化幅度的大小. 为了便于在宽高两个方向直观研究灰度比值的差异性,根据图 1 所选区域的阴影与背景灰度比值绘制三维直方图,如图 4 所示.

观察图 4 所示的三维灰度比值直方图可以发现,阴影与背景区域的灰度比值在其各个邻域内变化较小,经计算统计出 Highway_I 标记区域的灰度比值变化范围为 0~0.119 8, Hallway 标记区域的灰度比值变化范围为 0~0.128 3,不同视频序列的标记区域具有相似的变化范围,而超出一定的范围后变化开始增大. 为了最佳使用比值邻域差异不大这一特征,同时使阴影检测算法复杂度降低,本文在邻域上只选择 4 个像素,即一个像素的上下左右 4 方向. 在梯度计算方法的选择上,本文使用各个方向与中心像素的差分值来定义梯度信息. 最后为了避免由于数值的大小不同导致差分值的正负,本文在求取差分值的基础上再取其绝对值作为最终的梯度信息.

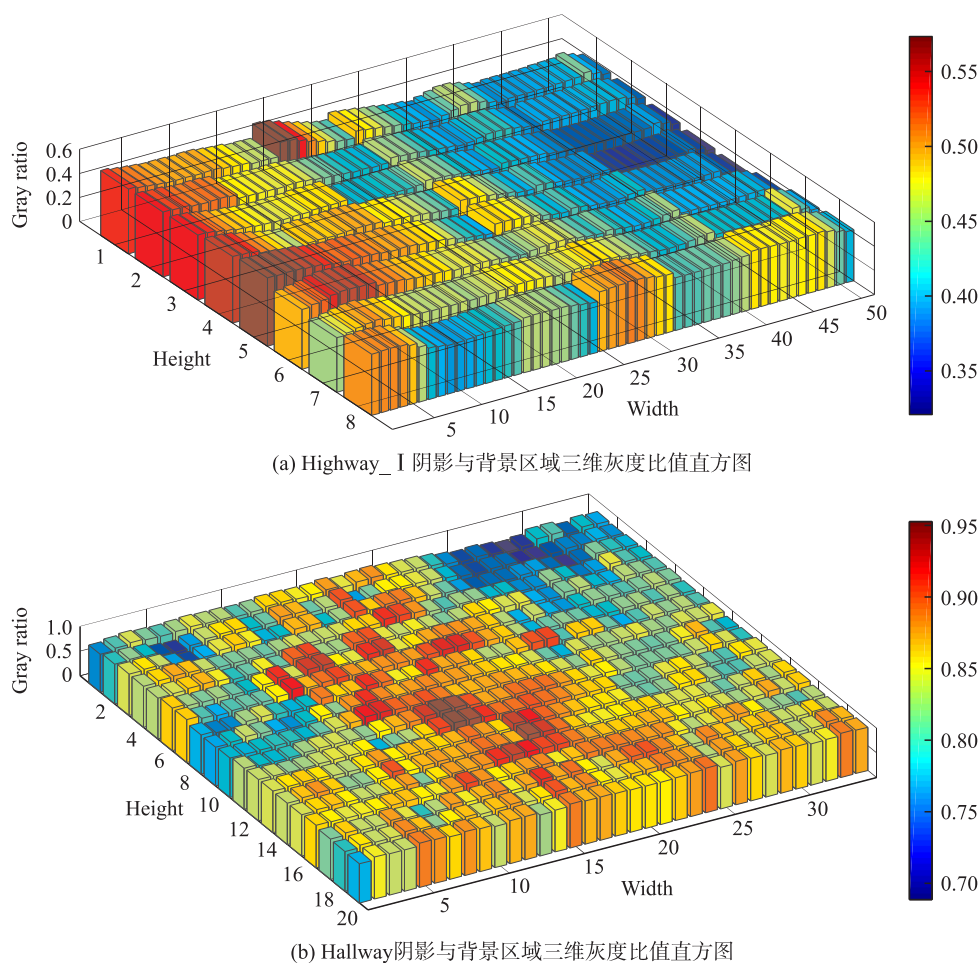


图4 Highway_I 与 Hallway 阴影与背景区域三维灰度比值直方图

Fig. 4 Three dimensional gray ratio histogram of shadow and background regions about Highway_I and Hallway

在视频序列中,阴影可能出现在目标的各个方向上,且在前景区域(运动目标与阴影的合称)边缘上,有时并不存在某些方向上的梯度,而在前景区域内部,同时存在4个方向的梯度.为了兼顾前景内部以及边缘的各种不同情况,同时使梯度的计算量减小,在求取梯度时,不计算不存在邻域方向上的梯度.

由于在边缘点计算梯度与内部点计算梯度的计算次数不同,导致梯度值的度量方法不统一.为了解决该问题,本文在求取各方向梯度绝对值之和的基础上取平均,使得不论计算几个方向,在取平均之后的度量方法统一一致,以便于阴影去除时阈值的选取.

设 $P(i,j)$ 为当前灰度比值点,其四方向点的定义如图5所示.

梯度定义公式为:

$$\nabla P(i,j) = \frac{\partial P}{\partial i} + \frac{\partial P}{\partial j} = \frac{1}{4} (|P(i,j) - P(i-1,j)| + |P(i,j) - P(i+1,j)| + |P(i,j) - P(i,j-1)| + |P(i,j) - P(i,j+1)|). \quad (11)$$

此处认为阴影均匀变化,因此阴影区域的梯度值较小,而目标区域的梯度值变化较大.于是梯度判别阴影的公式为:

$$\nabla P(i,j) \leq T_2. \quad (12)$$

同理, T_2 阈值的选取将在实验中测得并给出.

为了设计阴影去除算法,本文使用 NCC 与灰度比值梯度算法进行阴影去除的实验,如图6所示.由图6所示的算法实验结果可知,使用 NCC 去除阴影效果较好,但目标误检率高,空洞现象严重,这是因为互相关法是依据前景与背景像素的相关性来确定阴影,当背景图像灰度与目标图像灰度相近时就会造成误检,且空洞无法用形态学处理

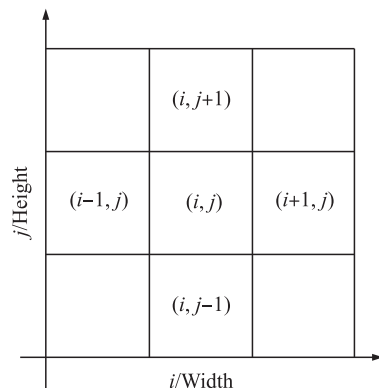


图5 4方向定义图

Fig. 5 4 direction definition diagram

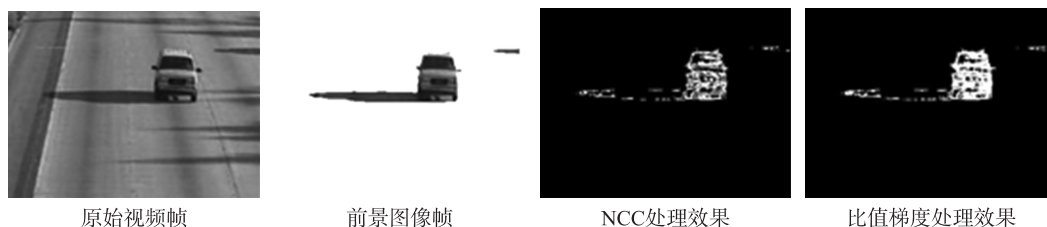


图 6 单一算法阴影去除效果

Fig. 6 Shadow removal effect of single algorithm

方法消除;使用灰度梯度比值去除阴影时阴影区域残留多一些,而目标中与阴影区域相似的区域被误去除,这是因为灰度视频序列中往往有一部分目标区域与其背景区域的灰度比值同阴影区域与其背景区域的灰度比值变化均不大,可能造成梯度方法的失效.虽然 NCC 与一阶四方向梯度算法在去除阴影时均会导致目标像素点被误去除,但目标像素点被误去除的位置却是不同的.其次两种算法虽然均残留阴影像素点,但残留的阴影像素点较少且离散分布.

归一化互相关法的优势在于考虑了前景像素点与背景像素点之间的相关性程度,越是相关则越说明所比较的像素点之间差别不大,即可能所检测的前景为阴影区域;而缺点在于并未考虑灰度值的大小关系对于检测阴影的重要性,也未考虑阴影区域与其对应背景区域的灰度值之间所存在的线性关系.一阶四方向梯度法的优势在于将前景与背景之间的灰度比值整体作为统一区域判别阴影,同时又考虑了阴影区域与背景区域的差别不大这一特性;而缺陷在于并未考虑到前景与背景之间原本分属两部分,结合在一起势必会造成一部分信息在融合过程中发生异变,从而导致阴影判断出现错误.

针对单一灰度阴影去除算法的不足,本文提出一种结合归一化互相关法与一阶四方向梯度法来共同去除阴影像素点并保留目标像素点的新算法.将两种阴影去除算法进行“与”运算,既将阴影检测的前景与背景区域统一起来综合检测,又各自保留了前景与背景区域的相互差异,很好地运用了两种算法之间的优点,同时抑制了两种算法所存在的缺点,只有在两者均认为是阴影的情况下才认定为阴影区域,否则为目标区域,故而能够最大程度上保留运动目标并去除阴影,即使残留部分离散阴影点也可使用形态学方法去除.新的阴影判别方法如式(13)所示:

$$\text{Shadow}(i,j)=\begin{cases} 1, & \text{NCC}(i,j)\geq T_1\&\nabla P(i,j)\leq T_2; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (13)$$

式中, $\text{Shadow}(i,j)$ 表示所检测到的阴影像素点,当满足判别条件时其值为 1,认为该点为阴影点;否则认为该点为运动目标像素点.

2.3 阴影去除算法的流程

首先计算前景像素点的归一化互相关值,使用阈值处理时尽可能将阴影全部去除,此时会有一部分目标也会被错误去除;与此同时,使用一阶四方向梯度法计算前景像素点的梯度值,阈值处理时同样尽可能去除阴影点;之后将两种算法去除阴影后的目标区域进行“或”运算即可达到目标像素点的最大保留;最后使用形态学等方法优化运动目标.改进的算法流程如图 7 所示.

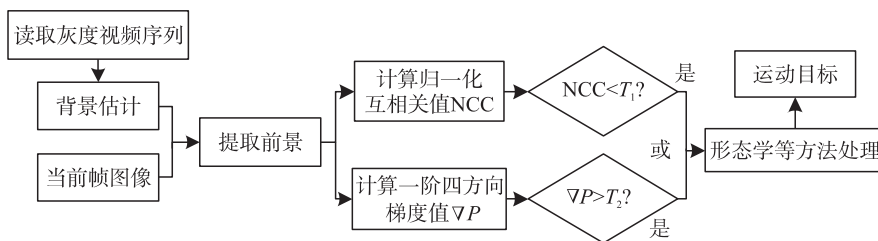


图 7 阴影检测流程图

Fig. 7 Flow chart of shadow detection

3 实验结果及分析

本文采用 VS2010 开发平台,使用 Opencv2.4.9 的库进行编程验证算法效果,PC 机配置为 Intel(R)

Core(TM) i5-6300HQ 2.30 GHz CPU, 8 GB 内存.

将本文阴影去除算法在标准视频库中阴影比较明显的视频(Highway_I, Highway_III, Campus, Intelligent-room, Hallway)下进行了测试. 在本文阴影去除算法中,归一化相关系数阈值的选取是随着所选场景的不同而变化的,实验测得其范围大致在 0.850~0.975 之间,灰度比值梯度阈值选取 0.020~0.045 时阴影去除效果比较理想.

3.1 定性分析

为便于观察,绘制图 8 各种算法下的阴影去除结果进行对比. 从图 8 中可以看出,对于行人、车辆等不同类型目标的阴影去除效果,对比其他 3 种算法,本文算法所处理后的结果最好,在将绝大部分阴影区域去除的同时有效地保留了运动目标.

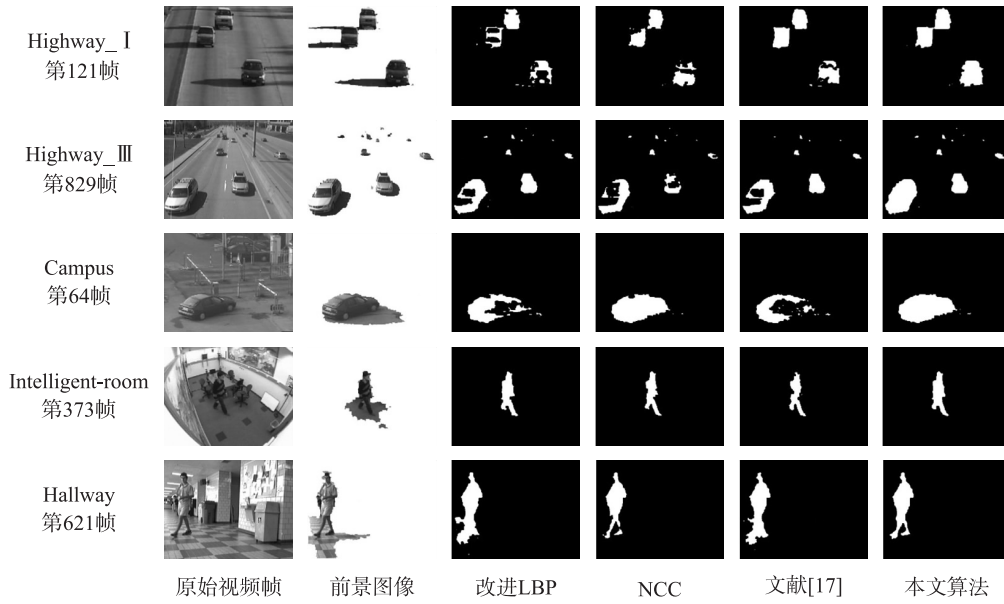


图 8 各种算法下的阴影去除结果对比

Fig. 8 Comparison of shadow removal results under various algorithms

在 Highway_I 视频的处理过程中, LBP 纹理与文献[17]梯度方法会残留较多的阴影像素点,同时 LBP 纹理、NCC 以及文献[17]方法处理时均把一部分目标当作阴影误去除,而本文算法在目标保留方面得到了较大的改善. 同理在 Highway_III 和 Campus 视频的处理过程中,也可以得到同样的结论. 在 Intelligent-room 视频的处理过程中,各种方法对于目标阴影的去除均达到比较好的效果,而在目标保留的完整性上,本文算法能够检测到更多的目标像素点. 在 Hallway 视频下,阴影区域并不特别明显,此时若不将前景与背景结合起来考虑,而仅仅依靠 LBP 纹理或文献[17]计算则容易将阴影检测不准确,残留较多阴影;而考虑前景与背景像素之间的关系,如 NCC 和本文算法,则可准确检测阴影,但仅仅依靠 NCC 易将目标误检为阴影,在此方面本文算法能够很好地去掉阴影保留运动目标.

3.2 定量分析

为了准确量化实验结果数据,本文采用文献[15,23]所提出的阴影检测率 η 和目标识别率 ξ 作为评价算法性能的指标,同时将两者求和后取平均值 Avg 进一步分析算法的综合性能,该指标能够最大限度消除由于阈值选取不同而造成的实验数据结果偏差过大,使算法的评价更加合理. 具体定义为:

$$\eta = \frac{TP_s}{TP_s + FN_s} \times 100\%, \quad (14)$$

$$\xi = \frac{TP_F}{FN_F + TP_F} \times 100\%, \quad (15)$$

$$\text{Avg} = (\eta + \xi) / 2. \quad (16)$$

式中, TP_s 表示正确检测到阴影像素的个数; FN_s 表示把阴影像素误检为前景像素的个数; TP_F 表示正确检测到前景像素点的个数; FN_F 表示将前景像素点误检为阴影像素点的个数. 本文通过人工标注不同视

频帧的目标和阴影,即可在阴影去除后求出 TP_S 、 FN_S 、 TP_F 和 FN_F 。

将本文所提出的阴影去除算法与 LBP 纹理算法、NCC 算法以及文献[17]算法进行对比,如表 1 所示。分别计算 4 种算法在不同场景下去除阴影的 3 项指标,即阴影检测率 η 、目标识别率 ξ 和两者求和取平均的测试指标 Avg。由实验数据可知,本文算法在目标识别方面具有突出优势,尤其是评价综合性能的平均值比其余算法的检测率均有提高。这是因为本文算法既利用了阴影与对应背景纹理方面的相关性,又利用了阴影与对应背景灰度比值的相关性,从而最大程度去除阴影且保留目标像素。

表 1 阴影去除算法效果的比较

测试视频	测试指标	LBP 纹理	NCC	文献[17]	本文算法
Highway_I	η	90.20	87.80	85.79	86.46
	ξ	70.05	52.56	69.76	84.08
	Avg	80.13	70.18	77.78	85.27
Highway_III	η	81.69	63.85	73.24	76.06
	ξ	79.97	72.25	76.35	88.51
	Avg	80.83	68.05	74.80	82.29
Campus	η	77.78	76.78	71.35	76.16
	ξ	67.12	73.74	58.44	76.73
	Avg	72.45	75.26	64.90	76.45
Intelligent-room	η	81.21	91.02	78.63	86.51
	ξ	85.61	77.54	68.43	92.01
	Avg	83.41	84.28	73.53	89.26
Hallway	η	76.18	97.43	75.04	96.78
	ξ	81.21	78.58	78.36	90.95
	Avg	78.70	88.01	76.70	93.87

在 Highway_I 中,LBP 纹理算法与 NCC 算法使得目标识别率 ξ 仅达到 70.05%和 52.56%,相当部分目标像素点被当作阴影像素点而误去除,造成目标的空洞现象;而本文算法的目标识别率 ξ 为 84.08%,具有显著的提升,虽然阴影检测率 η 较 LBP 纹理下降 3.74%,较 NCC 下降 1.34%,但下降幅度很小,故而使得综合性能 Avg 较 LBP 纹理算法提高 5%左右,较 NCC 算法提高 10%左右,在有效去除阴影的同时最大程度保留了运动目标。同理,在其他测试视频中也可以得到相似的结论。其次,在 Highway_I 中 LBP 纹理算法的 η 与 ξ 指标相差 20%左右,Campus 视频中文献[17]算法的 η 与 ξ 指标相差 13%左右,Hallway 视频中 NCC 算法的 η 与 ξ 相差 19%左右,说明这 3 种算法在正确判断阴影方面对于阈值选取的依赖程度较高,阈值大小的不同会使阴影与目标的检测效果出现很大的不同。而本文算法中 η 与 ξ 最大的偏差出现在 Highway_III 的检测上,为 12%左右,其余视频的检测结果偏差仅有 5%左右,本文算法的最大偏差相较于其他算法而言仍然是最低的。总体来看,本文算法相比于所对比的其他算法而言,在综合性能更优越的同时阈值选择难度降低,且复杂程度不高,故可满足实时检测的要求。

4 结论

为了有效去除灰度视频监控场景中出现的阴影,克服传统阴影检测算法中阴影去除率低、运动目标被误检为阴影的缺点,本文结合 NCC 和灰度比值梯度信息在阴影检测中的优点,提出了一种基于灰度比值的四方向梯度与归一化互相关特征相融合的阴影去除算法。

该算法首先计算前景像素与其对应背景像素的灰度比值;其次考虑到阴影区域与其对应背景区域相邻像素之间的灰度比值变化很小,其变化率比较稳定,故而求其灰度比值的四方向梯度的均值来判断阴影像素点;之后为了避免由于目标的一部分区域与阴影区域的灰度相似性造成运动目标被误去除,考虑到目标区域与其对应的背景区域的相关性特征差别显著,结合归一化互相关法来保证目标的完整性;最后使用形态学等方法优化检测目标,实现了灰度视频序列中运动目标的消影。

为了验证算法的有效性,本文分别对视频库中室内和室外环境下的视频进行了阴影检测。实验结果表明,本文算法改进了单一依靠灰度比值确定阴影像素时阈值选择的复杂性,同时绝大部分目标像素点得

以保留。定性和定量分析表明,与现有的 NCC、LBP 纹理以及梯度去影等算法进行对比,本文算法对于不同类型的目标检测结果更加优越,适用范围更广,鲁棒性更强。下一步本文将继续研究如何提高检测结果的稳定性,使其运用于更加广泛的识别检测中。

[参考文献] (References)

- [1] SANIN A, SANDERSON C, LOVELL B C. Shadow detection: a survey and comparative evaluation of recent methods[J]. Pattern recognition, 2012, 45(4): 1684–1695.
- [2] WANG Y, GONG N, GU X. Research on method for moving shadow detection[C]//International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering. Nanjing: IEEE, 2017: 1–4.
- [3] 段志刚, 屈靛琼, 田建东, 等. 基于正交分解的室外光照阴影检测[J]. 光学学报, 2016, 36(8): 201–209.
DUAN Z G, QU L Q, TIAN J D, et al. Outdoor illumination shadow detection based on orthogonal decomposition[J]. Acta optica sinica, 2016, 36(8): 201–209. (in Chinese)
- [4] MO N, ZHU R, YAN L, et al. Deshadowing of urban airborne imagery based on object-oriented automatic shadow detection and regional matching compensation[J]. IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, 2018, 11(2): 585–605.
- [5] GUO J M, HSIA C H, LIU Y F, et al. Fast background subtraction based on a multilayer codebook model for moving object detection[J]. IEEE transactions on circuits and systems for video technology, 2013, 23(10): 1809–1821.
- [6] 钟小芳, 周浩, 高志山, 等. 基于码本模型的运动阴影去除算法[J]. 计算机工程, 2017, 43(8): 266–271.
ZHONG X F, ZHOU H, GAO Z S, et al. Moving shadow removal algorithm based on codebook model[J]. Computer engineering, 2017, 43(8): 266–271. (in Chinese)
- [7] QU L, TIAN J, FAN H, et al. Evaluation of shadow features[J]. Iet computer vision, 2018, 12(1): 95–103.
- [8] 王燕玲, 李广伦, 林晓. 复杂动态环境下运动目标自动检测算法[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(4): 715–722.
WANG Y L, LI G L, LIN X. Method for auto-detection of tracking moving objects in complicated dynamic environment[J]. Journal of system simulation, 2015, 27(4): 715–722. (in Chinese)
- [9] KAR A, DEB K. Moving cast shadow detection and removal from video based on HSV color space[C]//International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology. Dhaka: IEEE, 2015: 1–6.
- [10] JIANG K, LI A H, CUI Z G, et al. Adaptive shadow detection using global texture and sampling deduction[J]. Iet computer vision, 2013, 7(2): 115–122.
- [11] 韩超, 邓甲昊, 邹金慧, 等. 基于差分均值背景提取和矩阵分区目标检测算法的研究[J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(12): 1247–1251, 1257.
HAN C, DENG J H, ZOU J H, et al. Background extraction based on differential mean method and shadow detection using matrix subregion partition[J]. Transactions of Beijing institute of technology, 2012, 32(12): 1247–1251, 1257. (in Chinese)
- [12] 韩延彬, 郭晓鹏, 魏延文, 等. RGB 和 HSI 颜色空间的一种改进的阴影消除算法[J]. 智能系统学报, 2015, 10(5): 769–774.
HAN Y B, GUO X P, WEI Y W, et al. An improved shadow removal algorithm based on RGB and HSI color spaces[J]. CAAI transactions on intelligent systems (TIS), 2015, 10(5): 769–774. (in Chinese)
- [13] FAROU B, ROUABHIA H, SERIDI H, et al. Novel approach for detection and removal of moving cast shadows based on RGB, HSV and YUV color spaces[J]. Computing and informatics, 2017, 36(4): 837–856.
- [14] RUSSELL M, ZOU J J, FANG G. Real-time vehicle shadow detection[J]. Electronics letters, 2015, 51(16): 1253–1255.
- [15] RUSSELL M, ZOU J J, FANG G, et al. Feature-based image patch classification for moving shadow detection[J]. IEEE transactions on circuits and systems for video technology, 2017, 14(8): 1–15.
- [16] 刘艳丽, 吴戡, 陈祥祥, 等. 室外移动视点视频的在线阴影边缘检测[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(10): 1827–1834.
LIU Y L, WU Y, CHEN X X, et al. Online detection of outdoor shadow edges from live videos under moving viewpoints[J]. Journal of computer-aided design and computer graphics, 2018, 30(10): 1827–1834. (in Chinese)
- [17] CHEN Z, ZHAO Y, HUANG X, et al. An improved shadow removal algorithm based on gradient amendment[C]//International conference on signal processing. Hangzhou: IEEE, 2014: 1190–1194.

(下转第 86 页)

- [13] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
EDITORIAL COMMITTEE OF WATER AND WASTEWATER MONITORING AND ANALYSIS METHODS OF THE STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION ADMINISTRATION. Water and wastewater monitoring and analysis methods[M]. 4th ed. Beijing:China Environmental Science Press,2002.(in Chinese)
- [14] 张强. 低浓度底物好氧降解趋势及 SMP 产出[D]. 北京:清华大学,2002.
ZHANG Q. Aerobic degradation trend of low concentration substrates and SMP output[D]. Beijing:Tsinghua University, 2002.(in Chinese)
- [15] 王弘宇,马放,苏俊峰,等. 好氧反硝化菌株的鉴定及其反硝化特性研究[J]. 环境科学,2007,28(7):1548-1552.
WANG H Y,MA F,SU J F,et al. Identification and characterization of a bacterial strain C3 capable of aerobic denitrification[J]. Environmental science,2007,28(7):1548-1552.(in Chinese)
- [16] 金春华,陆开宏,胡智勇,等. 粉绿狐尾藻和凤眼莲对不同形态氮吸收动力学研究[J]. 水生生物学报,2011,35(1):75-79.
JIN C H,LU K H,HU Z Y,et al. Kinetics of ammonium and nitrate uptake by *Myriophyllum aquaticum* and *Eichhornia Crassipes*[J]. Acta hydrobiologica sinica,2011,35(1):75-79.(in Chinese)
- [17] 张迎颖,张志勇,刘海琴,等. 滇池凤眼莲种养水域水体理化指标 24 小时变化规律[J]. 环境工程学报,2015,9(1):137-144.
ZHANG Y Y,ZHANG Z Y,LIU H Q,et al. 24 hour change rule of physical and chemical indexes in water area of Lake Dianchi with water hyacinth(*Eichhornia crassipes*)cultivated[J]. Chinese journal of environmental engineering,2015,9(1):137-144.(in Chinese).

[责任编辑:严海琳]

(上接第 67 页)

- [18] 戴璐平,刘海英,郑宽磊. 结合局部二元图特征的运动目标阴影抑制方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2016,44(10):119-122.
DAI L P,LIU H Y,ZHENG K L. Shadow suppression method for moving object based on the characteristics of binary pattern[J]. Journal of Huazhong university of science and technology(nature science edition),2016,44(10):119-122.(in Chinese)
- [19] XU M,ZHU J,LÜ P,et al. Learning-based shadow recognition and removal from monochromatic natural images[J]. IEEE transactions on image processing,2017,26(12):5811-5824.
- [20] 袁博,阮秋琦,安高云. 改进的自适应灰度视频序列阴影检测方法[J]. 信号处理,2014(11):1370-1374.
YUAN B,RUAN Q Q,AN G Y. Improved adaptive shadow detection approach in grayscale video sequences[J]. Journal of signal processing,2014(11):1370-1374.(in Chinese)
- [21] 韩延祥,张志胜,郝飞,等. 灰度序列图像中基于纹理特征的移动阴影检测[J]. 光学精密工程,2013,21(11):2931-2942.
HAN Y X,ZHANG Z S,HAO F,et al. Shadow detection based on texture features in gray sequence images[J]. Optics and precision engineering,2013,21(11):2931-2942.(in Chinese)
- [22] 邢藏菊,温兰兰,何苏勤. TLD 视频目标跟踪器快速匹配的研究[J]. 小型微型计算机系统,2015,36(5):1113-1116.
XING C J,WEN L L,HE S Q. Research on fast matching based TLD video target tracking[J]. Journal of Chinese computer systems,2015,36(5):1113-1116.(in Chinese)
- [23] 武明虎,宋冉冉,刘敏. 结合 HSV 与纹理特征的视频阴影消除算法[J]. 中国图象图形学报,2017,22(10):1373-1380.
WU M H,SONG R R,LIU M. Video shadow elimination algorithm by combining HSV with texture features[J]. Journal of image and graphics,2017,22(10):1373-1380.(in Chinese).

[责任编辑:严海琳]