

一种抗光照突变的前景提取方法研究

徐贵力¹, 谢 瑒¹, 程月华¹, 王正盛², 张泽宏¹, 姜 斌¹

(1. 南京航空航天大学自动化学院, 江苏南京 211100; 2. 南京航空航天大学理学院, 江苏南京 211100)

摘 要: 针对经典前景提取算法无法在光照突变情况下正确提取前景的问题, 根据 LBP 算子对光照不敏感的特性, 提出了一种基于截尾均值的纹理特征提取算法, 即通过对噪声的抑制及对平坦区域序列的稳定性处理, 解决了原有 LBP 算子易受噪声干扰, 平坦区域序列不稳定及得到的纹理图信息冗余的问题. 结合高质量纹理特征, 根据纹理特征的光照不变性, 设计了一种能有效应对光照突变情况的背景更新模型, 实验结果表明, 本文提出的融合纹理特征的前景提取模型不仅能够在光照缓慢变化的情况下有效地对运动目标前景进行提取, 而且在光照突变情况下仍然能够进行准确提取, 前景提取的准确率相比平均背景模型提高 61.7%, 相比混合高斯模型提高 59.3%.

关键词: 计算机视觉; 前景提取; 光照变化; 纹理特征

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2019)07-1401-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2019.07.002

A Foreground Extraction Algorithm for Sudden Illumination Changes

XU Gui-li¹, XIE Yang¹, CHENG Yue-hua¹, WANG Zheng-sheng², ZHANG Ze-hong¹, JIANG Bin¹

(1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, Jiangsu 211100, China;

2. College of Science, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, Jiangsu 211100, China)

Abstract: In this paper we address the problem of foreground extraction from images where there is an abrupt change in illumination. This condition is not adequately handled by classical foreground extraction algorithms; thus, we propose a novel algorithm based on the censoring mean that relies on the LBP (Local Binary Pattern) operator's insensitivity to illumination. Our approach first solves issues related to the stability of the region sequence. In turn, this handles the problems of the original LBP operator being susceptible to noise interference, as well as the instability of the flat region sequence. We have implemented a background updating model that is based on texture invariance, and can effectively deal with abrupt changes in illumination. The experimental results show that our proposed method for the extraction of fusion texture features can handle both slow changes in light, as well as changes in the foreground due to moving objects. The accuracy of foreground extraction can still be improved under the condition of light mutation. Our method performs favorably when judged against the average background model, where, the accuracy of foreground extraction is increased by 61.7% and 59.3% compared to the mixed Gaussian model.

Key words: computer vision; foreground extraction; illumination changes; texture feature

1 引言

大范围监控场景下通常感兴趣的运动目标往往是车辆、行人等, 在对这些运动目标进行行为分析之前, 需要对其进行前景提取, 将它们从复杂的环境中分离出来, 从而简化分析过程, 突出待分析的对象. 在运动前景提取过程中, 往往容易受到光照变化干扰, 如何抑制光照的影响是运动前景提取算法过程中的重要步骤.

运动前景提取^[1,2]方法有很多, 而通过建立背景模型, 利用当前帧与背景模型做差从而提取得到前景的背景差分法应用最为广泛. 常见的背景差分法^[3]有中值背景法^[4]、平均背景法^[5]、高斯模型法^[6-8]、基于样本一致性的背景建模法^[9]、Codebook 建模法^[10]及 Vibe 模型法等^[11-13]. 平均背景法实现简单, 实时性好, 同时能适应一定的环境变化, 但是复杂环境下该模型的环境适应性较差, 容易受复杂环境干扰, 甚至无法提取前景.

混合高斯模型的背景模型可以较为准确地描述真实背景,在复杂环境下具有一定的鲁棒性,但是在光照突变等突然场景转换下,仍然不能准确地提取出目标前景. Vibe 模型优势在于其运算量小,并且可以适应背景变化的情况,但是 Vibe 对于光照突变情况并没有优化,导致其容易将背景误检为前景. Stefano 等人提出一种基于卡尔曼滤波的背景更新方法,通过利用光照因子来控制滤波器对背景进行更新操作^[14,15]. 这种方法能适应光照的突变,但是计算十分复杂,而且容易出错从而影响后续的背景. 李亚玲等人在混合高斯模型的基础上,通过对模型更新机制进行改进,使其对局部光照变化具有了一定的适应性,同时加入了帧间信息来加强模型对全局光照变化的鲁棒性^[16],但是其依然无法处理光照突变情况. 敖邦乾等人利用当前图像与背景图像的边缘特征差分图来检测和定位目标,能够在一定程度上缓解光照变化^[17],但是边缘检测对图像质量要求较高,容易受到干扰,而且该方法也不能解决光照突变问题. 李加佳等提出一种基于局部二值模式(Local Binary Pattern, LBP)的背景模型,利用 LBP 的灰度不变性来改善光照突变下的前景提取,其通过将背景模型与当前图像进行异或运算,计算出单个像素为前景的概率,实现自适应背景更新^[18]. 但是局部二值模式容易受噪声影响,且在平坦区域并不能获得稳定的编码序列,导致其产生的纹理特征图并不稳定,对提取结果有较大的影响.

本文主要针对前景提取中光照突变问题,根据 LBP 算子对光照不敏感的特性,结合设计的高质量纹理特征,提出一种适应光照突变的前景提取算法. 在光照突变条件下,该算法仍然能够有效地提取出目标前景.

2 纹理特征设计

LBP 是由 Ojala 等人在 1994 年提出的,它是一种用来描述图像局部特征的方法,它最显著的特点在于它具有灰度不变性和旋转不变性^[19,20]. 其中灰度不变性是指光照变化对其描述的特征不产生影响,也就是说灰度不变性是对抗光照变化的一种很好的途径. 因此在背景模型中融合具有灰度不变性的特征便能在一定程度上抑制光照突变带来的影响.

原始的 LBP 特征描述以 3×3 的邻域为一个单元,将中心像素的值作为基准,并且把 8 邻域的像素值与中心像素的值进行比较,若周围像素的值大于中心像素的值,则将该像素点标记为 1,否则标记为 0. 于是,这个单元内的 8 个点便可以产生一串 8 位的二进制数,这个二进制数反映的就是中心像素的 LBP 值,描述的是该中心像素 3×3 领域内的纹理特征. 可以用图 1 来表示这一过程.

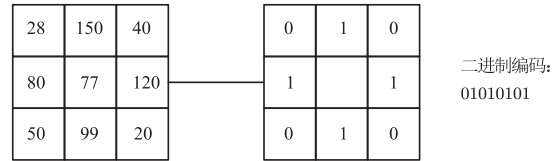


图1 局部二值模式过程描述图

2.1 局部二值模式 LBP 的噪声敏感改进

LBP 对噪声敏感问题的原因,在于 LBP 是基于中心像素的值来确定邻域内的相对关系的. 为了消除单一像素点对二进制编码结果影响的偶然性,以 3×3 邻域为例,我们提出将单元内的最大值和最小值去除之后,将单元内剩下的 7 个值求均值作为该单元的基准,然后再将 8 邻域内的像素值与该均值进行比较,大于均值则置为 1,否则置为 0,从而形成新的二进制编码. 可以用图 2 重新描述整个编码过程.



图2 提出的基于区域截尾均值的过程描述图

设计的具体模型如下:

$$BM(x, y) = \sum_{i=0}^{k-1} 2^i \cdot T(I_{\text{beside}}^i - I_{\text{mean}}) \quad (1)$$

$$I_{\text{mean}} = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} I^i \quad (2)$$

其中 I_{mean} 表示单元的截尾均值, I^i 表示去掉最大值和最小值剩下的其它像素值, T 为符号函数.

以截尾均值为基准的好处在于可以将单一像素的偶然性风险分摊到整个区域上,并且去除了偏差较大的误差点,从而提高二进制编码的可靠性,同时其仍然保持灰度不变性,即光照变化对该特征并不会产生影响. 灰度不变性证明如下所述.

以 3×3 邻域为例,假设单元内不同位置灰度值分别为 x_1, \dots, x_9 , 并且满足 $x_1 < x_2 < \dots < x_9$, 那么这个单元的截尾均值可以表示为

$$\bar{x} = \frac{1}{7} \sum_{i=2}^8 x_i \quad (3)$$

假设在光照发生变化前,不同位置灰度值与均值存在 $x_1 < x_2 < \bar{x} < \dots < x_9$ 的关系,因为光照变化具有区域性的特点,用 k 来表示光照变化,那么各个位置的灰度值会因为光照的变化向明或暗趋势改变,即 $x_1 + k, x_2 + k, \dots, x_9 + k$, 可以得到光照变化后的单元截尾均值:

$$\bar{x}' = \frac{1}{7} \sum_{i=2}^8 (x_i + k) = \frac{1}{7} \sum_{i=2}^8 x_i + k = \bar{x} + k \quad (4)$$

因为光照变化前假设 $x_1 < x_2 < \bar{x} < \dots < x_9$, 根据式

(4)可以得到光照变化后仍然存在 $x_1 + k < x_2 + k < \bar{x} + k < \dots < x_9 + k$ 的相对关系,即光照变化没有改变单位截尾均值与邻域像素值的相对关系,也就是说基于区域截尾均值的编码模式仍然具有灰度不变性.同时能够在一定程度上改善 LBP 对噪声敏感的特性,我们用敏感率 SR (Sensitivity Rate) 来衡量一种方法对噪声的敏感程度,其值越小,说明方法对噪声的越不敏感;反之,对噪声越敏感.设计的具体公式如下:

$$SR = \frac{\text{diff}(Mat_{\text{noise}} - Mat_{\text{true}})}{Mat_{\text{size}}} \times 100\% \quad (5)$$

其中 Mat_{noise} 表示被噪声污染过图像的纹理图, Mat_{true} 表示真实图像的纹理图, diff 函数统计两者像素值不同点的个数,即差异数, Mat_{size} 则表示纹理图的总像素点数.

在不同程度的噪声污染下,可通过表 1 来比较 LBP 与基于区域截尾均值的编码模式对噪声的敏感程度.

表 1 不同程度噪声污染下两种方法的敏感率对比表

	人工添加噪声数	差异数	总像素点数	敏感率
LBP	50	484	46513	1.10%
	100	973		2.10%
	200	1847		3.97%
	500	4455		9.60%
	1000	8605		18.50%
本文方法	50	231		0.40%
	100	534		1.10%
	200	1069		2.20%
	500	2740		5.80%
	1000	5793		12.40%

由表 1 可知,随着添加噪声点数的不断增加,两种方法的敏感率都在不断增加,但是基于区域截尾均值的编码方式在同一噪声点数下的敏感率明显均小于 LBP,这也说明基于区域截尾均值的编码方式确实能改善 LBP 对噪声敏感的问题.

2.2 编码稳定性研究

尽管利用基于区域截尾均值的办法改善了对噪声敏感的问题,但是仍然面临在平坦区域二进制编码不稳定的问题.在图像的平坦区域,比如墙面、路面等,以 3×3 邻域为例,单元内 9 个像素值十分接近,所以无论是 LBP 以中心像素为基准,还是以区域截尾均值为基准,它们获得的 0/1 序列都是不稳定的.

如图 3 可以表示平坦区域单元的灰度特点,以中心像素为基准,可以形成 00011110 的序列,以区域截尾均值为基准,同样可以形成 00011110 序列.但是这个序列并不稳定,当区域内的灰度值发生微小波动时,就会改变整个序列,从而造成截然不同的结果.

对于这种情况,本文通过添加一个波动阈值来避免像素值的微小波动导致整个序列发生变化的影响,从而保证形成序列的稳定性,即在得到区域截尾均值

80	81	82	中心像素基准:84 截尾均值基准:84
83	84	85	
86	87	88	

图3 平坦区域灰度值示意图

之后,为该均值设置一个波动区间,如式(6)所示:

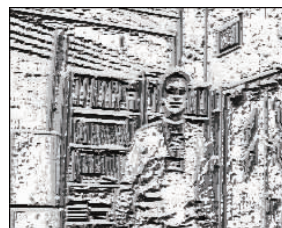
$$I_{\text{newBase}} = I_{\text{mean}} \pm TH_{\text{wave}} \quad (6)$$

其中 I_{newBase} 表示新的基准, I_{mean} 表示单元截尾均值, TH_{wave} 表示设置的波动阈值.当设置不同的波动阈值时,可以得到不同的纹理效果,如图 4 所示.

从图 4 中,可以发现通过本文设计的控制波动阈值法不仅能让平坦区域的序列保持稳定,而且还能够控制图像的细节复杂度:阈值越大,图像细节越少;反之,图像细节越多.对于运动目标检测场景,波动阈值设置为 10~15 较为合适,既能简化图像信息,又能得到需要的细节.接下来,本文将把得到的纹理特征融入进背景模型的构建中,从而建立新的背景更新方式来抑制光照突变对前景提取带来的影响.



(a)原始灰度图



(b) $TH_{\text{wave}}=0$



(c) $TH_{\text{wave}}=10$



(d) $TH_{\text{wave}}=20$



(e) $TH_{\text{wave}}=40$

图4 基于截尾均值的编码模式在不同波动阈值下的纹理效果图

3 背景更新模型建立

在前景提取过程中,光照变化会对背景模型造成很大影响,因此如何构造鲁棒的背景模型是前景提取

过程中关键一步.

在平均背景法中,其背景更新模型为:

$$B_{j+1} = \alpha I_i + (1 - \alpha) B_j \quad (7)$$

其中 α 代表学习率,其值越大,代表当前帧图像对背景模型的影响越大.当发生光照突变时,为了更好地检测出前景目标,同时抑制背景目标被误检为前景,本文提出对当前帧 I_i 的不同区域对应的背景模型进行不同的更新,即本文将 I_i 划分为两个部分,一部分为可能的前景部分 f_i ,另一部分为可能的背景部分 b_i ;针对这两个部分设置不同的学习率,以便更好地在光照突变情况下进行前景提取,其中对应 f_i 部分的学习率为 α_1 ,对应 b_i 部分的学习率为 α_2 ;同时,对于新的背景模型 B_{j+1} ,也分为两个部分:一部分为对应 f_i 的 B_{j+1}^1 ,另一部分为对应 b_i 的 B_{j+1}^2 ;具体如式(8)所示:

$$\begin{cases} I_i = f_i + b_i \\ B_{j+1} = B_{j+1}^1 + B_{j+1}^2 \\ \alpha = \alpha_1 \cup \alpha_2 \end{cases} \quad (8)$$

在光照突变的情况下,对于 I_i 中可能的前景部分 f_i ,为了保证 f_i 能尽可能地接近真实的前景,应该使 α_1 尽可能地小,此时 $B_{j+1}^1 \approx B_j$,能更好地突显出前景;而对于 I_i 中可能的背景部分 b_i ,应尽可能地接近真实背景,避免因光照突变而被误检为前景,应该使 α_2 尽可能地大,此时 $B_{j+1}^2 \approx B_j$,保证该部分不被检出.

因此只要对 I_i 进行合理地划分,并设置相应的 α ,得到的背景更新模型对光照突变就有一定的抑制作用.通过利用上一节获得的纹理特征图,我们可以实现对 I_i 的具体划分,同时建立起抑制光照突变的背景更新模型.具体背景更新模型定义如下:

$$B_{j+1}(x, y) = \alpha I_i(x, y) + (1 - \alpha) B_j(x, y) \quad (9)$$

$$CM_i(x, y) = |BM(I_i(x, y)) - BM(B_j(x, y))| \quad (10)$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_1, & \text{if } (CM_i(x, y) > TH) \\ \alpha_2, & \text{others} \end{cases} \quad (11)$$

其中 $B_{j+1}(x, y)$ 表示更新后背景模型中的某个像素, $I_i(x, y)$ 表示当前图像中的某一像素, $B_j(x, y)$ 表示当前背景模型中的某个像素; $BM(I_i(x, y))$ 表示当前图像的纹理特征图, $BM(B_j(x, y))$ 表示当前背景模型的纹理特征图, $CM_i(x, y)$ 表示置信图,对当前帧某一像素是否属于可能前景提供依据; α 表示学习率,这里是一个分段函数,其值取决于 $CM_i(x, y)$ 与设定阈值的比较结果.

4 算法流程设计

本文设计的背景更新算法具体实现步骤如下:

① 获得当前帧图像的纹理特征图 $BM(I_i)$ 与背景模型的纹理特征图 $BM(B_j)$;

② 将 $BM(I_i)$ 与 $BM(B_j)$ 相减,得到一张前景置

信图;

③ 分析置信图,将 I_i 分割为 f_i 与 b_i 两部分;

④ 分别设置 f_i 对应的学习率为 α_1 , b_i 对应的学习率为 α_2 ;

⑤ 对划分后的 I_i 进行分区域的背景更新;

⑥ 对接下来到来的每一帧都重复①~⑤步骤.

整体前景提取算法流程图如图5所示.

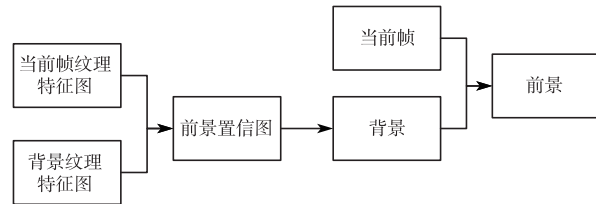


图5 本文设计的算法流程图

5 实验结果及分析

为了验证本文算法的有效性,分别从纹理检测的质量和光照变换下前景提取的好坏程度两个角度来进行实验验证.首先对于纹理检测的部分,主要针对不同场景下,通过本文方法与局部二值模式(LBP)进行比较.实验结果如图6所示.

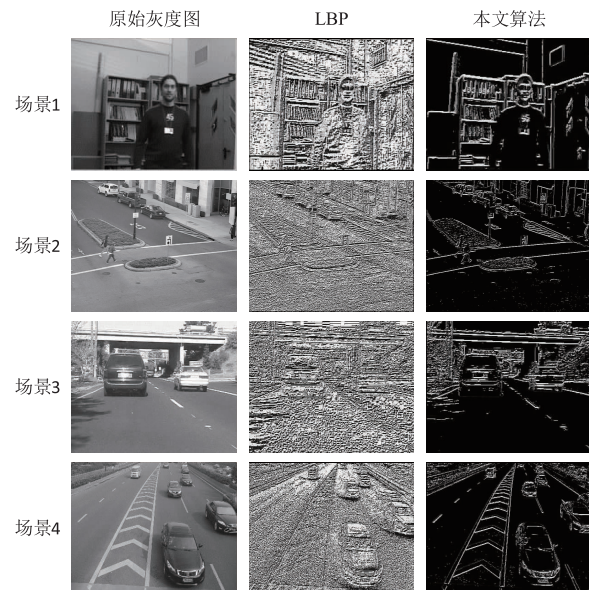


图6 不同场景下纹理检测对比图

从图6中可以看出,利用LBP算子检测得到的纹理信息繁多,且易受噪声干扰影响,同时对于平坦区域的处理效果并不理想.比如场景1中的墙体,场景2~4中的路面都是场景中较为平坦的区域,这些区域通过LBP算子得到纹理之后显得非常杂乱,并没有很好地区分出运动目标,而在前景提取中这些区域往往是背景部分,而不是前景部分.从场景1~4中可以看到本文方法对平坦区域的处理效果非常好,同时本文提出的基

于截尾均值的编码方式具有一定的抗噪声干扰能力,另外通过设置波动阈值的方法来处理平坦区域的序列不稳定且信息杂乱的问题,从而剔除冗余信息,突出目标,更有利于后续的前景提取操作.从实验结果来看,本文提出的纹理检测方法较 LBP 有较大的提升,能较好地检测出图像纹理,同时使得图像信息更加稳定,并且能有效地简化图像信息.接着,从信息熵角度对 LBP 算子与本文算法进行比较,用信息熵 E_i 来衡量图像的有序性,图像越有序,熵越小,说明纹理检测的结果更规则有序. E_i 的具体表示如下:

$$E_i = - \sum s \log_2(s) \quad (12)$$

其中 s 表示不同灰度在整个图像中所占的比例.

表 2 的数据显示在不同的场景下,本文的纹理检测方法相比 LBP 算子具有更低的熵值,说明检测得到的

图像更有序,图像信息更加简洁.因为本文算法无论是对噪声的抑制,还是对平坦区域的稳定性控制都有较好的效果.

表 2 不同算法的信息熵对比

	测试集大小 (张)	平均信息熵 (LBP)	平均信息熵 (本文)
场景 1	134	6.82	3.52
场景 2	667	7.17	2.39
场景 3	659	6.98	4.34
场景 4	150	7.14	2.77

在光照突变情况下对前景提取效果进行实验,并在多个场景下与平均背景法,混合高斯模型进行比较,具体实验效果如图 7 所示.

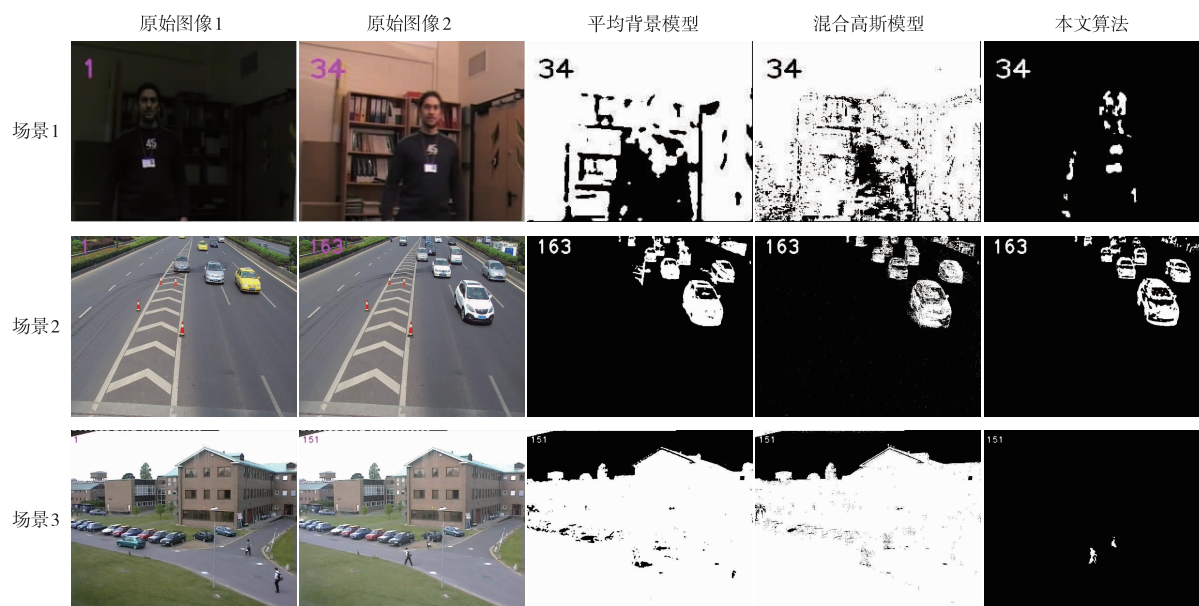


图7 光照突变情况下前景提取算法对比

从图 7 中可以看出,场景 1 中因为室内灯的点亮,造成光照的突变,平均背景模型与混合高斯模型均因为光照突变而将背景误检为前景,而无法准确提取出运动的人物,而本文方法可以在这种场景下正确提取到运动的人物,虽然融合纹理特征之后前景提取并不完整,但是后续可以通过形态学操作在一定程度上进行补足;场景 2 是自然光照变化下的前景提取,可以看到三种方法对自然光照缓慢变化都具有一定的适应性,都能较好地提取出运动车辆前景;场景 3 是人工制造光照变化的场景,在视频的第 151 帧,人为地将图像的灰度整体提升了 10,从而制造出光照突然变化的场景.在这种情况下,受光照突变的影响,无论是平均背景模型,还是混合高斯模型因为背景无法及时正确地更新,导致其无法提取出场景中正常行走的人物,而本

文算法在光照突变情况下,利用截尾均值编码模式的灰度不变性能够快速、正确地更新背景,从而准确提取到运动人物前景.从上述的实验结果可以看出,本文提出的融合纹理特征的前景提取算法无论在光照缓慢变化情况,还是在光照突变情况下,都能够较好地提取出运动前景.为了进一步地验证本文算法的有效性,从前景提取的准确率以及实时性两个角度,分别对三个不同的场景,与平均背景模型、混合高斯模型进行对比.本文使用前景准确率 P_f 来衡量前景提取算法的优劣,具体表示如下:

$$P_f = \frac{F_{\text{true}}}{F_{\text{all}}} \quad (13)$$

其中 F_{true} 表示提取结果中的真实前景像素点数, F_{all} 表示提取结果中的前景总像素点数.

表3的数据显示,在场景1与场景3中,因为光照的突然变化,平均背景模型及混合高斯模型都将大量背景像素误检为前景像素,导致总前景像素点数非常多,从而使得前景提取准确率非常低.而本文算法在场景1和场景3中均有较好的表现,融合纹理特征之后对背景更新进行辅助判断,明显提高了前景提取的准确率,相比平均背景模型提高61.7%,相比混合高斯模型提高59.3%.在场景2自然光照缓慢变化的情况下,三种方法均有一定的适应性,前景提取准确率相当.而在实时性方面,三个场景的图像分辨率分别为 240×19 , 640×480 , 640×480 ,因为本文融入了纹理特征作为判断依据,增加了算法的计算量,所以稍逊于另外两种方法,但基本可以满足应用要求.

表3 不同前景提取算法在光照变化情况下对比

	算法	准确前景 像素点数	总前景 像素点数	准确率	平均耗时 (ms)
场景1	平均背景	1992	33468	5.90%	2.4
	混合高斯	3529	32648	10.80%	3.9
	本文方法	466	765	60.90%	15.8
场景2	平均背景	18884	24283	77.70%	7.4
	混合高斯	13559	18031	75.20%	16.8
	本文方法	12934	16781	77.00%	62.9
场景3	平均背景	1101	340117	0.30%	6.6
	混合高斯	835	340357	0.25%	19.4
	本文方法	528	767	68.80%	72.6

6 结束语

本文主要研究了光照变化(突变)情况下前景提取问题,在LBP的基础上,提出了一种基于截尾均值的纹理特征模型,可以在保证有效图像信息的情况下,减少噪声干扰,简化图像信息,增强特征的稳定性.另外,针对光照变化(突变)情况下背景被误检为运动前景的情况,创新地建立了一种融合纹理特征的背景模型,通过纹理的灰度不变性来抑制光照变化对前景提取带来的影响,使得前景提取算法对光照变化(突变)具有一定的抑制能力.

参考文献

- [1] 常侃,张智勇,陈诚,等.采用低秩与加权稀疏分解的视频前景检测算法[J].电子学报,2017,45(9):2272-2280.
CHANG Kan, ZHANG Zhi-yong, CHEN Cheng, et al. A method of designing covert DSSS-signal for anti-blind detection[J]. Acta Electronica Sinica, 2017, 45(9): 2272 - 2280. (in Chinese)
- [2] 秦严严. 道路交通环境下车辆前景提取算法研究[D]. 陕西西安: 长安大学, 2015.
QIN Yan-yan. Algorithm Study on Vehicle Foreground Ex-

traction under Road Traffic Environment [D]. Xi'an, Shaanxi: Chang'an University, 2015. (in Chinese)

- [3] 李海霞,范红.基于背景差法的几种背景建模方法的研究[J].工业控制计算机,2012,25(7):62-63.
LI Hai-xia, FAN Hong. Research of several background modeling based on background subtraction [J]. Industrial Control Computer, 2012, 25(7): 62 - 63. (in Chinese)
- [4] GLOYER B, AGHAJAN H K, SIU K Y, et al. Video-based freeway-monitoring system using recursive vehicle tracking [J]. Proceedings of SPIE, 1995, Vol. 2421: 173 - 180.
- [5] LEE B, HEDLEY M. Background estimation for video surveillance [A]. Proceedings of the Image and Vision Computing New Zealand [C]. Auckland, New Zealand: The University of Auckland, 2002. 315 - 320.
- [6] ELGAMMAL A, HARWOOD D, DAVIS L. Non-parametric model for background subtraction [A]. Proceedings of European Conference on Computer Vision [C]. Dublin, Ireland: Springer, 2000. 751 - 767.
- [7] JING L. Improved algorithm of Gaussian mixture model for background subtraction [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(13): 168 - 170.
- [8] MUKHERJEE D, WU Q M J, NGUYEN T M. Multiresolution based Gaussian mixture model for background suppression [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(12): 5022 - 5035.
- [9] WANG H, SUTER D. Background subtraction based on a robust consensus method [A]. Proceedings of International Conference on Pattern Recognition [C]. Hong Kong, China: IEEE Computer Society, 2006. 223 - 226.
- [10] KIM K, CHALIDABHONGSE T H, HARWOOD D, et al. Background modeling and subtraction by codebook construction [A]. Proceedings of International Conference on Image Processing [C]. Singapore: IEEE, 2004. 3061 - 3064.
- [11] BARNICH O, DROOGENBROECK M V. ViBe: A universal background subtraction algorithm for video sequences [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(6): 1709 - 1724.
- [12] ZHOU Xiaoqin, LIU Xiaofeng, JIANG Aimin, et al. Improving video segmentation by fusing depth cues and the visual background extractor (ViBe) algorithm [J]. Sensors, 2017, 17(5): 1177 - 1191.
- [13] 王志明,张丽,包宏.基于混合结构神经网络的自适应背景模型[J].电子学报,2011,39(5):1053-1058.
WANG Zhi-ming, ZHANG Li, BAO Hong. Adaptive background model based on hybrid structure neural network [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(5): 1053 - 1058. (in Chinese)
- [14] MESSELODI S, MODENA C M, SEGATA N, et al. A

- Kalman filter based background updating algorithm robust to sharp illumination changes [A]. Proceedings of International Conference on Image Analysis and Processing [C]. Cagliari, Italy: Springer, 2005. 163 – 170.
- [15] 李亭亭. 基于卡尔曼滤波的运动目标跟踪 [J]. 建筑工程技术与设计, 2015, (19): 1800.
LI Ting-ting. Moving target tracking based on Kalman filter [J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2015, (19): 1800. (in Chinese)
- [16] 李亚玲, 徐荣青, 聂桂军, 等. 适应场景光照变化的运动目标检测算法 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21 (2): 140 – 142.
LI Ya-ling, XU Rong-qing, NIE Gui-jun, et al. Moving object detection method for change in scene light [J]. Computer Technology and Development, 2011, 21 (2): 140 – 142. (in Chinese)
- [17] 敖邦乾, 廖红虹, 熊飞峤. 对光照变化鲁棒的一种运动目标检测方法 [J]. 光电工程, 2013, 40 (1): 17 – 22.
AO Bang-qian, LIAO Hong-hong, XIONG Fei-qiao. A robust method for moving object detection [J]. Opto-Electronic Engineering, 2013, 40 (1): 17 – 22. (in Chinese)
- [18] 李加佳, 彭启民. 适应光照突变的运动目标检测算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24 (11): 1405 – 1409.
LI Jia-jia, PENG Qi-min. Motion object detection algorithm for sudden illumination changes [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2012, 24 (11): 1405 – 1409. (in Chinese)
- [19] OJALA T, PIETIKAINEN M, HARWOOD D. Performance evaluation of texture measures with classification based on Kullback discrimination of distributions [A]. Proceedings of 12th International Conference on Pattern Recognition [C]. Jerusalem, Israel: IEEE, 1994. 582 – 585.
- [20] 赵小强, 岳宗达. 基于局部二进制模式和图变换的快速匹配算法 [J]. 电子学报, 2017, 45 (9): 2156 – 2161.
ZHAO Xiao-qiang, YUE Zong-da. A fast matching algorithm based on local binary patterns and graph transformation [J]. Acta Electronica Sinica, 2017, 45 (9): 2156 – 2161. (in Chinese)

作者简介



徐贵力 男, 1972 年 4 月生于黑龙江佳木斯, 教授、博士生导师. 现任南京航空航天大学自动化学院测试系主任, 研究方向为计算机视觉与智能系统、光电检测与自动化装置等.
E-mail: guilixu2002@163.com



谢 瑒 男, 1994 年 7 月生于重庆梁平. 现为南京航空航天大学自动化学院测试系硕士研究生, 研究方向为智能交通、视觉 SLAM.
E-mail: xieyang3552@163.com